



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**“ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE ARCILLAS DE LA  
PROVINCIA DE CHIMBORAZO PARA LA REMOCIÓN DE  
COLORANTES EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
Presentado para optar el grado académico de:  
**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: ANDRÉS GREGORIO LARA HERNANDEZ**  
**TUTOR: ING. SEGUNDO HUGO CALDERÓN**

Riobamba-Ecuador

2018

© **2018**, Andrés Gregorio Lara Hernández

Autorización para la reproducción parcial o total, para fines de índole académica, a través de cualquier medio, incluyendo bibliografía e información propia del documento, siempre que sea reconocido el derecho de autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE ARCILLAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO PARA LA REMOCION DE COLORANTES EN EFLUENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL, de responsabilidad del Andrés Gregorio Lara Hernández, ha sido minuciosamente revisado por lo Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada la presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Segundo Hugo Calderón

.....

.....

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACION**

Dr. Juan Marcelo Ramos Flores

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Andrés Gregorio Lara Hernández, expongo que el presente Trabajo de Tesis es de mi autoría siendo los resultados del mismo auténticos, y que la información del texto proveniente de diversas fuentes ha sido citada y referenciada, siguiendo la normativa establecida en la Institución.

Por la presente declaración asumo mi responsabilidad por la información que se presente en este trabajo investigativo.

-----

Andrés Gregorio Lara Hernández.

C.I: 060423966-5.

“Yo, Andrés Gregorio Lara Hernández, adquiero la responsabilidad sobre las ideas y resultados plasmados en este trabajo de tesis, siendo el patrimonio intelectual propiedad de la Institución”

Andrés Gregorio Lara Hernandez

## **DEDICATORIA**

La presente tesis es dedicada de manera especial a mis padres: Gerardo Lara y Piedad Hernández, por su apoyo y motivación incondicional en toda mi vida universitaria para lograr la culminación de mi carrera.

De la misma manera a mi familia quien me daba ánimos de seguir adelante y no abandonar la carrera y por decirme siempre las palabras adecuadas para no decaer frente a los obstáculos que se me presentaban.

Andrés Lara

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, Jesús y a la Virgen María por acompañarme en todo mi trayecto estudiantil con su bendición, llenándome todos los días de paciencia y sabiduría.

A mis padres, por estar ahí junto a mí brindándome palabras de aliento para no decaer en el camino.  
Al Ing. Hugo Calderón y al Dr. Juan Ramos por los conocimientos que me brindaron durante mi vida estudiantil y durante la elaboración de la tesis.

A mis amigos por estar en los momentos culminantes de mi carrera apoyándome incondicionalmente.

Andrés Lara

## TABLA DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| RESUMEN.....  | xvii      |
| ABSTRACT.....   | xviii     |
| <b>CAPITULO I</b>   |           |
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1. Identificación del problema.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.2. Justificación del proyecto .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>1.3. Objetivos .....</b>   | <b>3</b>  |
| <i>1.3.1. General .....</i>   | <i>3</i>  |
| <i>1.3.2. Específicos .....</i>   | <i>3</i>  |
| <b>CAPÍTULO II</b>  |           |
| <b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>2.1. ANTECEDENTES .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>2.2. Marco Conceptual.....</b>   | <b>8</b>  |
| <b>2.2.1. Industria Textil.....</b>   | <b>8</b>  |
| <i>2.2.1.1. Proceso General .....</i>   | <i>8</i>  |
| <i>2.2.1.2. Subsectores de la industria textil .....</i>                                  | <i>10</i> |
| <i>2.2.1.3. Lavandería textil .....</i>   | <i>10</i> |
| <b>2.2.2. Aguas Residuales.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.2.3. Aguas Residuales Textiles .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2.2.4. Caracterización de Efluentes Textiles .....</b>                                 | <b>17</b> |
| <b>2.2.5. Tratamientos de Aguas Residuales.....</b>                                       | <b>18</b> |
| <b>2.2.6. Adsorción .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>2.2.7. Arcillas .....</b>  | <b>21</b> |
| <i>2.2.7.1. Clasificación de las Arcillas .....</i>                                       | <i>23</i> |
| <i>2.2.7.2. Propiedades fisicoquímicas de las arcillas .....</i>                          | <i>24</i> |
| <i>2.2.7.3. Caracterización de arcillas.....</i>  | <i>26</i> |
| <b>2.2.8. Purificación de Arcillas .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>2.2.9. Arcillas como adsorbentes de color de efluentes textiles .....</b>              | <b>29</b> |
| <b>2.2.10. Tratamientos que afectarán la capacidad de adsorción de las arcillas .....</b> | <b>30</b> |
| <b>CAPITULO III</b>   |           |
| <b>3. MARCO EXPERIMENTAL.....</b>   | <b>32</b> |
| <b>3.1. Lugar y pruebas de estudio .....</b>  | <b>32</b> |

|                             |   |           |
|-----------------------------|---|-----------|
| 3.2.                        | <b>Materiales y Equipos .....</b>                                   | <b>32</b> |
| 3.3.                        | <b>METODOLOGÍA .....</b>  | <b>34</b> |
| 3.3.1.                      | <b>Hipótesis y Especificación de Variables .....</b>                | <b>34</b> |
| 3.3.2.                      | <b>Matriz de Consistencia .....</b>                                 | <b>36</b> |
| 3.4.                        | <b>Diseño y Tipo de Investigación.....</b>                          | <b>37</b> |
| 3.4.1.                      | <b>Tipo de Investigación .....</b>                                  | <b>37</b> |
| 3.4.2.                      | <b>Diseño de la Investigación .....</b>                             | <b>38</b> |
| 3.5.                        | <b>Unidad de análisis .....</b>                                     | <b>38</b> |
| 3.6.                        | <b>Población de Estudio.....</b>                                    | <b>38</b> |
| 3.7.                        | <b>Tamaño de la Muestra.....</b>                                    | <b>38</b> |
| 3.8.                        | <b>Selección de la Muestra .....</b>                                | <b>39</b> |
| 3.9.                        | <b>Técnicas de Recolección de Datos.....</b>                        | <b>39</b> |
| <b>CAPÍTULO IV</b>          |   |           |
| 4.                          | <b>Resultados y Discusión.....</b>                                  | <b>46</b> |
| 4.1.                        | <b>Análisis de Resultados .....</b>                                 | <b>46</b> |
| 4.1.1.                      | <b>Caracterización física y análisis textural .....</b>             | <b>46</b> |
| 4.1.2.                      | <b>Caracterización química.....</b>                                 | <b>46</b> |
| 4.1.3.                      | <b>Caracterización físico-química efluente textil .....</b>         | <b>51</b> |
| 4.1.4.                      | <b>Tratamientos del efluente con arcillas.....</b>                  | <b>51</b> |
| 4.1.4.1.                    | <i>Tratamiento de efluente con arcilla de Cacha .....</i>           | <i>51</i> |
| 4.1.4.2.                    | <i>Tratamiento de efluente con arcilla de Licán .....</i>           | <i>52</i> |
| 4.1.4.3.                    | <i>Tratamiento de efluente con arcilla de Chambo .....</i>          | <i>53</i> |
| 4.1.4.4.                    | <i>Resultados de arcilla con mejor porcentaje de remoción .....</i> | <i>54</i> |
| 4.1.5.                      | <b>Prototipo sistema de tratamiento.....</b>                        | <b>55</b> |
| 4.2.                        | <b>Discusión de resultados.....</b>                                 | <b>77</b> |
| 4.3.                        | <b>Prueba de Hipótesis .....</b>                                    | <b>79</b> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>    |   | <b>81</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b> |   | <b>83</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>         |   |           |
| <b>ANEXOS</b>               |   |           |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1-2:</b> Información Recopilada para el trabajo de Investigación .....                          | 6  |
| <b>Tabla 2-2:</b> Afloramientos y Frentes de explotación de arcillas de la provincia de Chimborazo. .... | 8  |
| <b>Tabla 3-2:</b> Clasificación de aguas Residuales.....   | 15 |
| <b>Tabla 4-2:</b> Contaminantes generados en Fuentes Antropogénicas.....                                 | 15 |
| <b>Tabla 5-2:</b> Tipos de Vertederos.....   | 18 |
| <b>Tabla 6-2:</b> Tipos de Tratamientos Preliminares .....   | 18 |
| <b>Tabla 7-2:</b> Tipos de Tratamientos Primarios.....   | 19 |
| <b>Tabla 8-2:</b> Tipos de Tratamientos Secundarios.....   | 19 |
| <b>Tabla 9-2:</b> Tipos de Tratamientos Secundarios.....   | 20 |
| <b>Tabla 10-2:</b> Tamaño del gránulo.....   | 28 |
| <b>Tabla 1-3:</b> Triturado y Tamizado de arcillas.....  | 32 |
| <b>Tabla 2-3:</b> Purificación de arcillas .....   | 33 |
| <b>Tabla 3-3:</b> Tratamiento de arcillas .....  | 33 |
| <b>Tabla 4-3:</b> Muestreo y Caracterización Efluente Textil.....  | 33 |
| <b>Tabla 5-3:</b> Tratabilidad del efluente.....   | 33 |
| <b>Tabla 6-3:</b> Codificación muestras .....  | 39 |
| <b>Tabla 7-3:</b> Textura.....   | 41 |
| <b>Tabla 8-3:</b> Método Espectrofotométrico 5220 D .....  | 42 |
| <b>Tabla 9-3:</b> Método electrométrico 4500 B .....   | 43 |
| <b>Tabla 10-3:</b> Método de Incubación 5210 B .....   | 43 |
| <b>Tabla 11-3:</b> Método gravimétrico 2540D .....   | 44 |
| <b>Tabla 12-3:</b> Método gravimétrico 2540 B.....   | 44 |
| <b>Tabla 13-3:</b> Método Hach 125 .....   | 45 |
| <b>Tabla 1-4:</b> Caracterización física y análisis textural .....                                       | 46 |
| <b>Tabla 2-4:</b> Fases Minerales de la muestra CACHPR.....  | 47 |
| <b>Tabla 3-4:</b> Fases Minerales de la muestra LICHPR.....  | 47 |
| <b>Tabla 4-4:</b> Fases Minerales de la muestra CHCHPR .....   | 48 |
| <b>Tabla 5-4:</b> Composición en óxidos Arcillas de Chimborazo .....                                     | 49 |
| <b>Tabla 6-4:</b> Caracterización Físico Química Efluente .....  | 51 |
| <b>Tabla 7-4:</b> Ensayos remoción de color arcillas de Cacha .....                                      | 51 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 8-4:</b> Resultados ANOVA Cacha .....  | 51 |
| <b>Tabla 9-4:</b> Ensayos remoción de color arcillas de Licán .....                           | 52 |
| <b>Tabla 10-4:</b> Resultados ANOVA Licán .....   | 52 |
| <b>Tabla 11-4:</b> Ensayos remoción de color arcillas de Chambo .....                         | 53 |
| <b>Tabla 12-4:</b> Resultados ANOVA Chambo.....   | 53 |
| <b>Tabla 13-4:</b> Resultados ANOVA Total.....  | 54 |
| <b>Tabla 14-4:</b> Muestreo efluente textil.....  | 56 |
| <b>Tabla 15-4:</b> Criterios para la selección del tipo de vertedero.....                     | 57 |
| <b>Tabla 16-4:</b> Dimensiones de las cajas para vertederos rectangulares .....               | 57 |
| <b>Tabla 17-4:</b> Resultados Tanque de Almacenamiento y Vertedero.....                       | 60 |
| <b>Tabla 18-4:</b> Coeficiente de rugosidad de Manning .....                                  | 61 |
| <b>Tabla 19-4:</b> Capacidad de conducción canales revestidos .....                           | 62 |
| <b>Tabla 20-4:</b> Condiciones para el borde libre del canal.....                             | 63 |
| <b>Tabla 21-4:</b> Condiciones para el diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica ..... | 64 |
| <b>Tabla 22-4:</b> Coeficiente de pérdida para rejillas .....                                 | 65 |
| <b>Tabla 23-4:</b> Resultados Canal y Sistema de Rejillas.....                                | 66 |
| <b>Tabla 24-4:</b> Valores de carga de superficie.....  | 67 |
| <b>Tabla 25-4:</b> Información usual para diseño de tanques circulares .....                  | 69 |
| <b>Tabla 26-4:</b> Resultados Tanque Circular .....   | 71 |
| <b>Tabla 27-4:</b> Datos para el diseño de sedimentadores circulares .....                    | 73 |
| <b>Tabla 28-4:</b> Resultados Sedimentador .....  | 76 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1-2:</b> Esquema Del proceso General llevado a cabo en la industria textil ..... | 9  |
| <b>Figura 2-2:</b> Grupos Cromóforos y Auxocromos.....                                     | 12 |
| <b>Figura 3-2:</b> Índigo .....  | 12 |
| <b>Figura 4-2:</b> Grupo Cromóforo y auxocromo índigo .....                                | 12 |
| <b>Figura 5-2:</b> Estructura Octaédrica.....  | 21 |
| <b>Figura 6-2:</b> Estructura Tetraédrica.....   | 22 |
| <b>Figura 7-2:</b> Estructura Laminar Arcillas.....  | 22 |
| <b>Figura 8-2:</b> Tabla de Munsell.....   | 27 |
| <b>Figura 1-4:</b> Vertedero Rectangular .....   | 59 |
| <b>Figura 2-4:</b> Forma de rejillas .....   | 65 |
| <b>Figura 3-4:</b> Sistema de rejillas .....   | 67 |
| <b>Figura 4-4:</b> Tanque circular de agitación arcilla-efluente.....                      | 71 |
| <b>Figura 5-4:</b> Sedimentador .....  | 76 |

## INDICE DE GRAFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfica 1-4:</b> Difractograma Arcilla de Cacha.....                                    | 46 |
| <b>Gráfica 2-4:</b> Difractograma Arcilla de Licán.....                                    | 47 |
| <b>Gráfica 3-4:</b> Difractograma Arcilla de Chambo .....                                  | 48 |
| <b>Gráfica 4-4:</b> Comparación de Resultados Por Localización .....                       | 50 |
| <b>Gráfica 5-4:</b> Comparación de Resultados por Componentes .....                        | 50 |
| <b>Gráfica 6-4:</b> Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Color Arcilla de Cacha.....   | 52 |
| <b>Gráfica 7-4:</b> Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Color Arcilla de Licán.....   | 53 |
| <b>Gráfica 8-4:</b> Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Color Arcilla de Chambo ..... | 54 |
| <b>Gráfica 9-4:</b> Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Mejores Arcillas.....         | 55 |

## INDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** TULSMA LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

**ANEXO B:** Resultados Caracterización Físico-Química del efluente textil

**ANEXO C:** Resultados de color real antes de tratar la muestra

**ANEXO D:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha natural

**ANEXO E:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha modificada térmicamente

**ANEXO F:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha modificada con ácido

**ANEXO G:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha modificada con base

**ANEXO H:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán natural

**ANEXO I:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán modificada térmicamente

**ANEXO J:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán modificada con ácido

**ANEXO K:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán modificada con base

**ANEXO L:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo natural

**ANEXO M:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo modificada térmicamente

**ANEXO N:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo modificada con ácido

**ANEXO O:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo modificada con base

**ANEXO P:** Muestreo Arcillas

**ANEXO Q:** Purificación Arcillas

**ANEXO R:** Arcillas tratadas

**ANEXO S:** Textura y Color de Arcillas

**ANEXO T:** Efluente Textil

## INDICE DE ABREVIATURAS

|      |   |
|------|---|
| CH   | Chimborazo                                  |
| CA   | Cacha                                       |
| CH   | Chambo                                      |
| LI   | Licán                                       |
| PR   | Purificada                                  |
| AC   | Acido                                       |
| BS   | Básico                                      |
| TR   | Térmico                                     |
| PCU  | Unidades Platino-Cobalto                    |
| DQO  | Demanda Química de Oxígeno                  |
| DBO  | Demanda Biológica de Oxígeno                |
| Q    | Caudal Medido                               |
| FM   | Factor de mayorización                      |
| VT   | Volumen del tanque de almacenamiento        |
| LT   | Largo del tanque de almacenamiento          |
| AT   | Ancho del tanque de almacenamiento          |
| HT   | Alto del tanque de almacenamiento           |
| AT   | Área del tanque de almacenamiento           |
| H    | Alto de la cresta vertedora                 |
| B    | Ancho mínimo interno vertedero              |
| F    | Largo mínimo del vertedero                  |
| Hv   | Alto mínimo interno vertedero               |
| Ac   | Área del canal                              |
| b    | Base del canal                              |
| R    | Radio hidráulico                            |
| V    | Velocidad de recorrido del agua en el canal |
| S    | Gradiente Hidráulico                        |
| n    | Coefficiente de Manning                     |
| Astc | Área de la sección transversal del canal    |
| h    | Altura máxima del canal de agua             |

|             |   |
|-------------|---|
| QD          | Caudal de diseño                                |
| hs          | Factor de seguridad                             |
| Ht          | Altura total del canal                          |
| Vef         | Volumen del efluente                            |
| t           | Tiempo de llenado                               |
| LB          | Longitud de Barras                              |
| e           | Separación entre barras                         |
| b           | Espesor máximo de las barras                    |
| t           | Espesor máximo de las barras                    |
| Nb          | Número de Barras                                |
| $sen\theta$ | Ángulo de inclinación de las barras             |
| hc          | Pérdida de carga de las rejillas                |
| $\beta$     | Factor dependiente de la forma de la barra      |
| g           | Gravedad  |
| Atc         | Área superficial del tanque circular            |
| rtc         | Radio del tanque circular                       |
| Dtc         | Diámetro del tanque circular                    |
| Vtc         | Volumen del tanque circular                     |
| PM          | Potencia del motor                              |
| G           | Gradiente medio de velocidad                    |
| $\mu$       | viscosidad dinámica                             |
| VT          | Volumen tanque circular                         |
| n           | Velocidad de Rotación                           |
| rse         | Radio del sedimentador                          |
| Dse         | Diámetro del sedimentador                       |
| Vc          | Volumen de la parte cilíndrica del sedimentador |
| hcse        | Altura de la parte cilíndrica del sedimentador  |
| Vco         | Volumen parte cónica del sedimentador           |
| hco         | Altura de la parte cónica del sedimentador      |
| VTs         | Volumen total del sedimentador                  |
| Trh         | Tiempo de retención hidráulico                  |

## RESUMEN

Se realizó el estudio de la factibilidad del uso de arcillas de la Provincia de Chimborazo para la remoción de colorantes en efluentes textiles, el proceso investigativo se dividió varias etapas: se seleccionó los afloramientos de Cacha, Chambo y Licán, luego se hizo 6 tomas de 2 Kg de cada muestra, se procedió al triturado y tamizado a luces de malla de 150  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ , se realizó la caracterización física de color, consistencia, sensación al tacto, después se realizó el análisis textural; seguido de la caracterización química de las arcillas tamizadas y purificadas, el material tamizado a 150  $\mu\text{m}$  se sometió a los procesos de modificación ácido(HCl), básico(Na(OH)) y térmico; Se muestreo el efluente textil y se lo caracterizó desde el punto de vista fisicoquímico, para la medición del color real se debió filtrar la muestra, posteriormente se hizo una dilución 1/3 para medir el color real en unidades platino-cobalto y paralelamente se preparó una dilución 1/20 para comprobar que el efluente cumplía con el límite permisible de la Norma, como siguiente etapa se agitó 0,1g de las arcillas en 100 mL del efluente durante 2h para después dejar las muestras en reposo por 1h , luego se tomó 10 mL del sobrenadante del efluente tratado y se lo llevó a dilución 1/3 para medir nuevamente el color real paralelo a esto se preparó una dilución 1/20 del efluente tratado con lo cual se comprobó que las arcillas usadas como adsorbentes permitieron cumplir el límite dado por la Norma, las arcillas que mejor rendimiento mostraron por locación fueron: Cacha con modificación térmica con una remoción de 19,7%, Licán con modificación ácida con 28,5% de remoción de color y Chambo modificado con base con un valor de 28,4%, la mejor arcilla fue la de Licán, la cual tuvo el porcentaje de remoción por encima de las demás muestras esta última tendrá un uso a nivel industrial de 2,12 Kg para remover el color del efluente usando un tanque circular de agitación de un volumen de 2,12  $\text{m}^3$ .

**Palabras clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <ARCILLAS>, <PURIFICACIÓN>, <MODIFICACIÓN>, <EFLUENTE TEXTIL>, <REMOCIÓN DE COLOR>

## ABSTRACT

This feasibility study was conducted in order to determine the use of clays from the province of Chimborazo for the removal of dyes in textile effluents. The research process was divided into several stages: the outcroppings of Cacha, Chambo and Licán were selected, then 6 intakes were made by 2kg of each sample, then, it was ground and sifted at mesh lights of 150  $\mu\text{m}$  and 100  $\mu\text{m}$ , also, the physical characterization of colour, consistency, and touch sensation were performed. Subsequently, the textural analysis was carried out, followed by the chemical characterization of the sifted and purified clays, the material sifted at 150  $\mu\text{m}$  was subjected to the processes of modification acid (HCl), basic (Na (OH)) and thermal. The textile effluent was sampled and characterized from the physicochemical point of view, for the measurement of the real colour the sample had to be filtered, then a 1/3 dilution was made to measure the real colour in platinum-cobalt units, as well as a 1/20 dilution was prepared to verify that the effluent complied with the permissible limit of the standard, as a next stage 0.1 g of the clays in 100 ml of the effluent for 2 hours were shaken, and then, the samples were left in rest for 1 hour, then 10 ml of supernatant of the treated effluent was taken and brought to the 1/3 dilution to measure again the real colour in parallel while, a 1/20 dilution of the treated effluent was prepared, which proved that the clays used as adsorbents made possible to comply with the limit given by the standard, the clays that showed the best performance by location were: Cacha with thermal modification showing a removal of 19.7%, Licán with acid modification showing 28.5% of colour removal, and Chambo, modified with a value of 28.4%, the best clay was that one from Licán, whose percentage of removal was above the other samples, this sample will have an industrial use of 2.12 kg to remove the colour of the effluent using a circular agitation tank with a volume of 2.12  $\text{m}^3$ .

**KEY WORDS:** < ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <CLAY>, <PURIFICATION>, <MODIFICATION>, <TEXTILE EFFLUENT>, <COLOUR REMOVAL>

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Identificación del problema

En la industria textil el uso de colorantes es esencial para dar un acabado a los productos, pero el problema de este tipo de industrias es el uso de grandes cantidades de agua para las diferentes etapas de la producción, siendo este un factor negativo al momento de descargar el agua residual a cuerpos de agua dulce, los que, al captar elevados volúmenes del efluente, ven afectada su vida acuática. (Cortazar et al., 2014, p.139)

En Ecuador la generación de efluentes por industrias textiles afecta al ambiente puesto que estos contaminantes alteran la composición de los recursos hídricos. En el cantón Pelileo de la Provincia de Tungurahua la industria textil es dinamizadora de la economía local, (Ordoñez, 2016, p.3), no obstante, dichas industrias ocupan métodos tradicionales de tintura y lavado, dichos procesos conllevan variaciones de DBO, DQO, pH, y color, siendo estos los parámetros considerados para la caracterización de efluentes.(Cortazar et al., 2014, p.139; Cuadrado,2017,p.25)

En el cantón Guano de la provincia de Chimborazo en el año 2010 se realizó un estudio del río del mismo nombre, donde se analizó color, oxígeno del agua, fosfatos y nitratos. Se determinó que este río, junto al Guamote y al Chibunga, eran los más contaminados de toda la cuenca. Entre los contaminantes detectados se encontraban colorantes y sulfato de amonio.(El Comercio, 2010, p.5)

Dentro de las tecnologías para la adsorción o remoción de pigmentos se puede destacar a los minerales arcillosos, por su elevada área superficial, y altas capacidades de adsorción e intercambio iónico (Ramos, 2018, p.27), estos procesos están dentro de las técnicas de tratamiento más favorables debido a su sostenibilidad económica y ambiental (Ngulube et al., 2017, p.36). A pesar de lo anterior, existe poca investigación sobre la aplicabilidad de arcillas para el tratamiento de efluentes de industria textil. Particularmente, en la provincia de Chimborazo, específicamente en

Licán, Cacha y se encuentran afloramientos de arcillas de los cuales se desconoce su capacidad para remover colorantes.

## **1.2. Justificación del proyecto**

Las aguas residuales poseen una carga contaminante mayor que la de las aguas domésticas, entre las sustancias contaminantes se tiene a los colorantes. En la industria textil, los tejidos son sometidos a procesos de lavado, fijado y teñido. Tanto el lavado como el teñido generan la mayor carga de colorante en los efluentes. Entre los efectos que provocan los colorantes se tiene incremento en la toxicidad acuática y aumento en los valores de DBO, DQO, color y pH.(Cortazar et al., 2014, pp.139-143)

El vertido de efluentes sin tratar provoca afectación en aguas y afecciones a los consumidores de dichos recursos, contraviniendo el artículo 14 de la Constitución de la República de Ecuador, que consagra el derecho a vivir en un ambiente sano y libre de contaminación.(Constitución del Ecuador, 2008, p.24)

Lo anterior pone en relieve la necesidad y pertinencia de realizar el **“ESTUDIO SOBRE LA APLICABILIDAD DE ARCILLAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO PARA LA REMOCIÓN DE COLORANTES EN EFLUENTES DE INDUSTRIA TEXTIL”** como un aporte para abordar el problema de contaminación generada por las industrias textiles, particularmente el relacionado a colorantes, a la vez que se aprovechan recursos minerales que no han sido estudiados ni aplicados para el tratamiento de efluentes, beneficiando, en último término, a las poblaciones aledañas a las zonas de descarga y cuerpos de agua receptores de efluentes.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. General***

- Realizar el estudio de la factibilidad del uso de arcillas de la Provincia de Chimborazo para la remoción de colorantes en efluentes de la industria textil.

#### ***1.3.2. Específicos***

- Realizar la caracterización físico-química de efluentes textiles en base al “TULSMA LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA”, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de noviembre del 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Caracterizar las arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo desde un punto de vista fisicoquímico y textural.
- Aplicar las arcillas seleccionadas, en estado natural y tratadas, en la remoción de colorantes de muestras de efluentes textiles.
- Valorar la remoción de colorantes obtenida por la aplicación de las arcillas seleccionadas, en referencia al “TULSMA LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA”, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de noviembre del 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Se tiene registros de industria textil en el Ecuador antes de la conquista española. En el siglo XX abundaban fábricas de tamaño pequeño. En 1950 en el país aparecieron las primeras textileras encargadas del procesado de la lana.(Re, 2010, p.5)

Entre las provincias que más se destacan en el emprendimiento textil están: Tungurahua, Pichincha, Azuay, Imbabura, Guayas y, en menor medida, Chimborazo.(Gallardo, 2016, p.14)

En el país se ha venido generando problemas de contaminación por la descarga de efluentes provenientes de estas industrias.

En los procesos textiles las operaciones que más colorantes residuales generan son el teñido y lavado. Adicional a lo anterior, existen otros aspectos críticos como la ineficiencia en el tratamiento del color en los efluentes y la clase de colorantes usados, puesto que varios de ellos presentaran resistencia a la remoción.(El Comercio, 2010, p.5)

La contaminación generada por colorantes es un aspecto que requiere atención, debido a que éstos no se auto depuran; por lo cual al estar el colorante presente en el agua no permitirá el paso de la luz solar, afectando la cantidad de oxígeno disponible y la apariencia del entorno. En el caso de colorantes con cobre, se producen efectos negativos en los cultivos rociados con aguas contaminadas, provocando una reducción en la germinación de las semillas o incluso infertilidad en el suelo. (Cuadrado, 2017, p.3). Por otro lado, existen estudios que señalan que la contaminación por efluentes textiles puede causar daños en la salud de las personas que entran en contacto con dichos residuales.(Hormaza et al., 2013, p.9)

El control de las descargas hacia cuerpos receptores es normado por el Ministerio del Ambiente en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, TULSMA, Libro VI, Anexo I, el cual da indicaciones de los valores tolerables en los efluentes para su posterior descarga. (Ministerio del Ambiente, 2015, p.22) El acuerdo ministerial 142 anexo B menciona, entre los desechos peligrosos generados por la fabricación de productos textiles, a los pigmentos, colorantes, tintas, etc.(Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012,p.12)

Además de los tratamientos usados de manera convencional, se han realizado estudios en el país respecto a sistemas de tratamiento alternativos.(Guarquila 2013, p.4) También se han utilizado lechos filtrantes combinados con fibras naturales (Re, 2010, pp. 8-11) y procesos físico-químicos para la remoción del color. Éstos últimos presentan el problema asociado de la formación de productos secundarios con potencial riesgo a la salud. Además se tiene el método fenton, que oxida los pigmentos por adición de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso.(Casanova, 2009, pp.5-7). Las técnicas electroquímicas actúan descomponiendo el colorante por hidrólisis, no obstante, implican un elevado consumo de electricidad.(Maldonado y Molina, 2011: p.50)

Las arcillas se vienen usando desde hace miles de años en lo que respecta a actividades de alfarería. En los últimos años se ha investigado su aplicación para tratamiento de aguas residuales.(De Pablo, 1964, p.49)

Existen diversos tipos de arcillas que permiten la retención de contaminantes (fenoles, colorantes, metales pesados, etc.), para ello deben recibir un tratamiento de activación específico según las características de cada mineral arcilloso; por ejemplo, arcillas del tipo bentonita se activan en presencia de un ácido para generar una adsorción eficaz. (Rosas y Guerrero, 2014:p.43). La modificación de las arcillas también puede incluir intercambio de cationes inorgánicos por cationes orgánicos, modificación a la forma Fe-Mn-Al entre otros. Lo anterior apunta a que se pueden aprovechar los yacimientos de arcillas, además de las aplicaciones tradicionales, en el tratamiento de aguas residuales.( Peña, 2010, pp.7-9)

En la siguiente tabla se resume las investigaciones acerca del uso de arcillas para tratamiento de colorantes de efluentes textiles

**Tabla 1-2: Información Recopilada para el trabajo de Investigación**

| <b>Estudio</b>   | <b>Autor</b>  | <b>Tipo</b>         | <b>Fecha de Publicación</b> |
|--|---|---------------------|-----------------------------|
| Adsorption characteristics, isotherm, kinetics, and diffusion of modified natural Bentonite for removing diazo dye   | Manjot Toor, Bo Jin   | Artículo Científico | 19 de enero del 2012        |
| Activating natural bentonite as a cost-effective adsorbent for removal of Congo-red in wastewater  | Manjot Toor , Bo Jin , Sheng Dai , Vipasiri Vimonses  | Artículo Científico | 8 de Marzo del 2014         |
| Adsorption of dyes using different types of clay: a review   | Aderonke Ajibola Adeyemo<br>Idowu Olatunbosun Adeoye<br>Olugbenga Solomon Bello   | Artículo Científico | 11 de Agosto del 2015       |
| Adsorptive amputation of hazardous azo dye Congo red from wastewater: a critical review  | Nirav P. Raval <sup>1</sup> & Prapti U. Shah <sup>1</sup> & Nisha K. Shah <sup>2</sup>  | Artículo Científico | 24 de Mayo del 2016         |
| Dye Adsorption on Expanding Three-Layer Clays  | Tolga Depci1 and Mehmet S. Celik.   | Artículo Científico | N/A                         |
| Adsorption kinetics and mechanism of maxilon blue 5G dye on sepiolite from aqueous solutions   | M. Alkan, M. Dog˘an , Y. Turhan, O . Demirbas, , P. Turan   | Artículo Científico | 24 de Julio del 2007        |
| Adsorption of basic dyes from single and binary component Systems onto bentonite: Simultaneous analysis of Basic Red 46 and Basic Yellow 28 by first order derivative spectrophotometric analysis method | Meral Turabik   | Artículo Científico | 14 de Enero del 2008        |
| Adsorption of Brilliant Green dye from aqueous solution onto red clay  | Muhammad Saif Ur Rehman, Muhammad Munir ,Muhammad Ashfaq , Naim Rashid, Muhammad Faizan Nazar , Muhammad Danish , Jong-In Han | Artículo Científico | 7 de Mayo del 2013          |
| Adsorption of congo red by three Australian kaolins  | Vipasiri Vimonses , Shaomin Lei , Bo Jin , Chris W.K. Chow , Chris Saint  | Artículo Científico | 3 de Diciembre del 2008     |

| <b>Estudio</b>   | <b>Autor</b>  | <b>Tipo</b>         | <b>Fecha de Publicación</b> |
|--|---|---------------------|-----------------------------|
| Brilliant Yellow dye adsorption onto sepiolite using a full factorial design   | Deniz Bingol , Nalan Tekin , Mahir Alkan  | Artículo Científico | 21 de Agosto del 2010       |
| Removal of basic dyes from aqueous solutions using natural clay  | Tülin Banu İyim, Gamze Güçlü  | Artículo Científico | 22 de Junio del 2009        |
| Removal of Basic Red 46 dye from aqueous solution by adsorption onto Moroccan clay   | A. Bennani Karima, B. Mounira, M. Hachkara, M. Bakassec, A. Yaacoubib   | Artículo Científico | 6 de Febrero del 2009       |
| Removal of basic yellow cationic dye by an aqueous dispersion of Moroccan stevensite   | Mohamed Ajbary , Alberto Santos , Victor Morales-Flórez ,Luis Esquivias   | Artículo Científico | 27 de Mayo del 2013         |
| Use of kaolinite as adsorbent: Equilibrium, dynamics and thermodynamic studies on the adsorption of Rhodamine B from aqueous solution      | Tabrez A. Khan , Sarita Dahiya, Imran Ali   | Artículo Científico | 1 de Septiembre del 2012    |
| Enhanced adsorption of Acid Red 88 by an excellent adsorbent prepared from alunite   | Sibel Tunali Akar,Tugba Alp and Dilek Yilmazer  | Artículo Científico | 27 de Marzo del 2012        |
| Study of variables for optimization of the dye indosol adsorption process using red mud and clay as adsorbents                             | Eveline H. C. de Oliveira E´rica T. R. Mendonc, Osmar S. Barauna<br>Joelma M. Ferreira<br>Mauricio A.da Motta<br>Sobrinho | Artículo Científico | 9 de Diciembre del 2015     |
| Adsorption of Rhodamine B from Aqueous Solution onto Heat-Activated Sepiolite  | WANG Jiquan, WANG Daojie, ZHANG Gaoke , GUO Yadan, LIU Jin  | Artículo Científico | 18 de Octubre del 2010      |
| Optimization of activation conditions of locally available clays for cottonseed oil bleaching: characterization and performance evaluation | MUSTAFA OGUZHAN<br>CAGLAYAN and BURCU OTMAN   | Artículo Científico | 14 de Mayo del 2019         |
| Enhanced Adsorptive Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Alkali-Activated Palygorskite                                       | Wenbo Wang & Fangfang Wang & Yuru Kang & Ai Qin Wang  | Artículo Científico | 6 de Febrero 2015           |

| <b>Estudio</b>   | <b>Autor</b>  | <b>Tipo</b>         | <b>Fecha de Publicación</b> |
|--|---|---------------------|-----------------------------|
| Evaluation of physicochemical methods in enhancing the adsorption performance of natural zeolite as low-cost adsorbent of methylene blue dye from wastewater | Kar Yan Hor, Jasmine Mun Cheng Chee, Meng Nan Chong ,Bo Jin ,Christopher Saint , Phaik Eong Poh , Rupak Aryal | Artículo Científico | 24 de Enero del 2016        |
| Adsorption of methylene blue on kaolinite  | Dipa Ghosh, Krishna G. Bhattacharyya  | Artículo Científico | 9 de Julio del 2001         |
| Effect of acid activation of Saudi local clay mineral on removal properties of basic blue 41 from an aqueous solution  | Fethi Kooli , Yan Liu , Rawan Al-Faze , Awadh Al Suhaimi  | Artículo Científico | 31 de Julio del 2015        |

**Fuente:** Google académico, Link springer y Sciencedirect, 2018.

**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018.

En la provincia de Chimborazo existen los siguientes afloramientos y frentes de explotación:

**Tabla 2-2:** Afloramientos y Frentes de explotación de arcillas de la provincia de Chimborazo.

| <b>Cantón</b> | <b>Parroquia</b> | <b>Sector</b> | <b>Denominación del afloramiento</b> |
|---------------|------------------|---------------|--------------------------------------|
| Riobamba      | Licán            | Loma Cushcud  | Licán                                |
| Chambo        | Chambo           | Chambo        | Chambo                               |
| Alausí        | -----            | Pircabamba    | Pircabamba                           |
| Riobamba      | Yaruquies        | Cacha         | Cacha                                |
| Pallatanga    | Pallatanga       | Santiago      | Santiago                             |
| Guamote       | Palmira          | -----         | Naute                                |
| Guamote       | Guamote          | -----         | Sablog                               |
| Guamote       | Guamote          | -----         | Tanquis 50                           |

**Fuente:** CODIGEM, 1997, (Inventario de Materias Primas No Metálicas en el Ecuador, Tomo XV: Provincia de Chimborazo).

**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018.

## 2.2. Marco Conceptual

### 2.2.1. Industria Textil

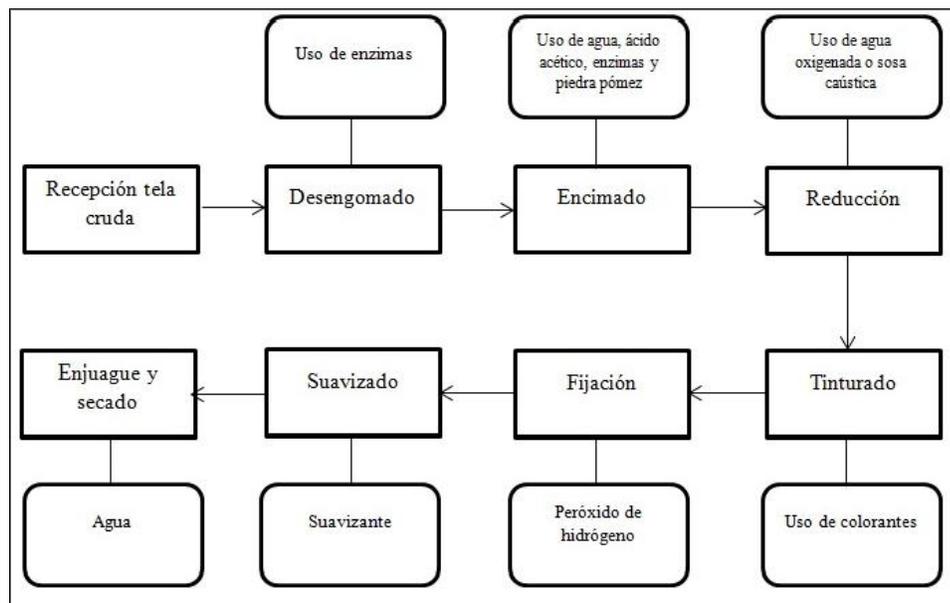
#### 2.2.1.1. *Proceso General*

Las industrias del tipo textil procesan fibras, las cuales se someten a diferentes procesos de transformación, que se agrupan en etapas: Pre-tratamiento, teñido, acabados.(Maldonado y Molina, 2011: p.35).

Los procesos húmedos, aquellos que involucran uso de agua, son los más característicos de la industria textil (desengomado, encimado, focalizado, tinturado, reducción, acabado, enjuague), en

tanto que los otros, que no requieren agua, se denominan procesos secos.(Moreno, 2007, p.20) También se tienen procesos mecánicos, en los cuales se ejecutan acciones como la torsión de fibras como el lino.(Sedlak, 2018, p.17)

En el caso particular de las prendas “jean” o de mezclilla, la secuencia varía respecto a la del resto de telas, el proceso comienza con la recepción de las telas crudas cuyas fibras son de origen natural (lana, algodón, lino) y sintético (poliéster, poliacrilonitrilo, polipropileno, poliuretano, spandex). (Sedlak, 2018, pp.14-20), seguidamente tenemos el proceso de desengomado donde se elimina la goma residual con el uso de enzimas, el proceso de encimado es utilizado para dar una apariencia de desgaste a la tela utilizando una mezcla de agua, ácido acético, enzimas y piedra pómez, en el proceso de reducción se da el uso de agua oxigenada o sosa cáustica para dar un aspecto sucio (dirty) o aclarado (stong) de la tela, en el proceso de tintura se da el uso de diversos colorantes para cambiar la tonalidad de la tela(Maldonado y Molina, 2011: pp.36-38), en el caso de las industrias textiles de menor tamaño (lavanderías textiles) se da el uso de colorantes del tipo sulfuroso, de tina y directos, mientras que en las industrias de mayor tamaño se da el uso de colorantes azo (Garzón, 2009, p.12), en el proceso de fijación se utiliza peróxido de hidrogeno para una mejor retención del colorante en la tela, el suavizado evita la aparición de arrugas en la tela debido a la esponjosidad alcanzada por el uso de suavizantes, finalmente se da el proceso de enjuague de la tela exprimiendo y secando el producto para eliminar la repelencia y las arrugas.(Maldonado y Molina, 2011: p. 38)



**Figura 1-2:** Esquema Del proceso General llevado a cabo en la industria textil  
Fuente: Maldonado y Molina, 2011: p.41

### 2.2.1.2. *Subsectores de la industria textil*

Las industrias textiles se dividen en diferentes subsectores como son:

**Tejedurías.** - Producción de telas.(Maldonado y Molina, 2011: p.33)

**Hilanderías.** - Producción de hilos a partir de fibras.(Maldonado y Molina, 2011: p.33)

**Lavanderías textiles.** - Procesos encargados de dar el acabado final a las telas e hilos. (Maldonado y Molina, 2011: p.33)

**Fibras.** - Obtención de fibras que son generadas por la petroquímica, química, ganadería y agricultura, para ser usadas como materia prima en la industria textil.(Maldonado y Molina, 2011: p.33)

### 2.2.1.3. *Lavandería textil*

#### **Procesos Llevados a cabo en una lavandería textil**

El proceso general llevado a cabo a una lavandería textil es el siguiente:

- **Procesos de Desengomado**

Tratamiento utilizado para la eliminación de sustancias gomosas que recubren a las fibras dicha eliminación se la realiza con el uso de catiónicos los cuales tienen alcalinidades altas. (Barrera, 2010, p.10)

Las sustancias utilizadas en el proceso de desengomado son la mezcla de detergentes y estabilizadores para la eliminación del almidón en las fibras.(Barrera, 2010, p.11)

- **Procesos de Estonado (Lavado con Piedra)**

En esta etapa se genera en la superficie de la ropa una pérdida de color generándose una aparición de puntos de color blanco, este proceso es efectuado para dar una apariencia envejecida a las prendas.(Albia, 2017, p.11)

Para el proceso de estonado se da el uso de piedras en este caso de piedras cinasitas las cuales se encargan de dar suavidad a la ropa.(Albia, 2017, p.12)

- **Teñido**

Uso de detergentes catiónicos y sosa caústica para eliminar impurezas luego la tela es llevada al proceso que se encarga de dar una coloración diferente a las prendas de vestir el colorante mayormente utilizado en las textileras es el color índigo.(Barrera, 2010, p.19)

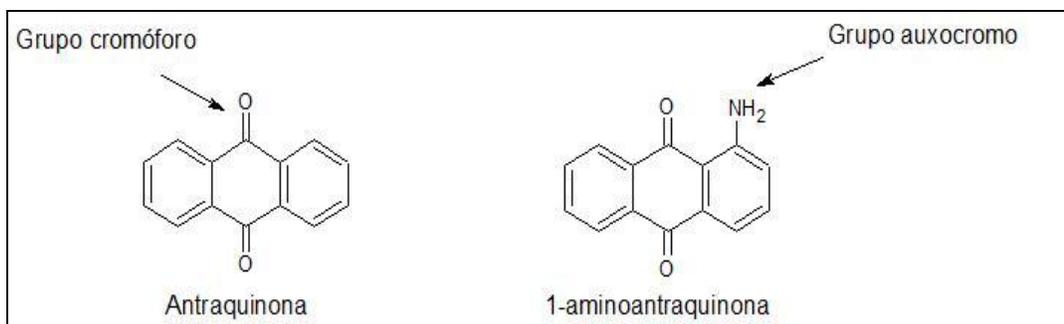
Dentro del proceso de teñido tenemos el uso de procesos conocidos como procesos sucios los cuales ayudan a fijar el color en las prendas de vestir y una vez fijado el color estas prendas son lavadas.(Albia, 2017, p.12)

En el proceso de teñido tenemos los cambios de tonalidad de las prendas de vestir, este proceso consiste en aclarar las prendas con el uso de hipoclorito de sodio una vez decolorada la prenda se utiliza metabisulfito de sodio que ayuda a neutralizar la solución. (Pupiales, 2014, p.19)

### *Colorantes*

Los colorantes son macromoléculas capaces de teñir fibras de origen animal o vegetal. (Maldonado y Molina, 2011: p.66), estos pueden ser de origen sintético ( ácidos, sulfurosos, dispersos, reactivos, ácidos, básicos) o natural (indigo (colorante de tina)), además que se da el uso de auxiliares de teñido (carbasol y humectal) ayudando estos a la difusión del colorante.(Esparza, 2016, p.2)

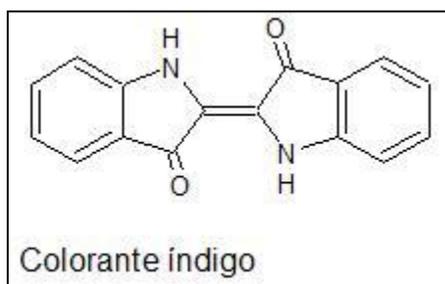
Las dos características que deben poseer los colorantes para ser aplicados a escala industrial es mostrar una alta intensidad y que el color no se desvanezca al pasar el tiempo, las estructuras que ayudan a fijar el color se conocen como grupos Cromóforos(Martinez, 2017, p.38) y para intensificar el color existen otras estructuras conocidas como Auxocromos. (Ngulube et al., 2017, p.37; Arévalo, 2012, p.82;)



**Figura 2-2:** Grupos Cromóforos y Auxocromos

Fuente: Moeller, 2013, p.6

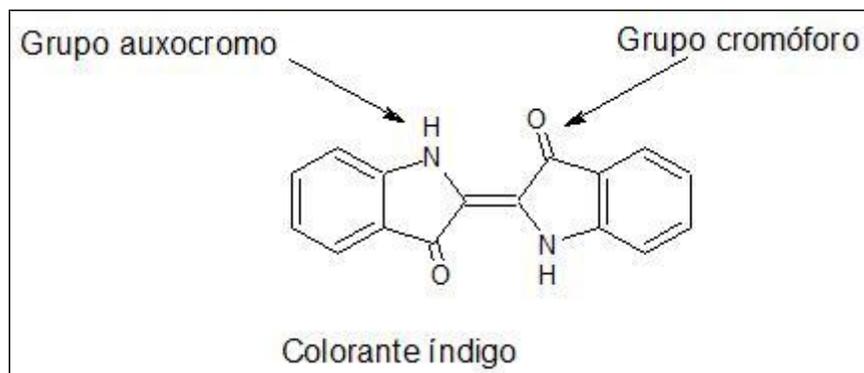
Los colorantes de tina (índigo) son utilizados en la industria textil (jeans) los cuales se caracterizan por ser colorantes hidrosolubles( Coronel y Tenesaca, 2013, p.33), dentro de este tipo de colorantes tenemos el color índigo ( $C_{16}H_{10}O_2N_2$ ) que presenta un color azul oscuro intenso.(Colindres, 2005, p.25)



**Figura 3-2:** Índigo

Fuente: Coronel y Tenesaca, 2013, p.47

La característica más sobresaliente del teñido con el color índigo es la forma en la que el colorante penetra en la fibra, en el teñido influye la intensidad con la que se realice, es decir si la coloración se efectúa con diferentes cantidades del colorante.(Pérez, 2013: pp.2-16)



**Figura 4-2:** Grupo Cromóforo y auxocromo índigo

Fuente: Coronel y Tenesaca, 2013, p.48

El colorante índigo por procesos de óxido-reducción se adhiere a las fibras textiles, ya que este proceso permite que el colorante tenga afinidad por las telas.(Indigo Química S.L , 2013, p.78), la relación volumen de colorante por kilogramo de material que se procesa es de 1:15. (Albuja y Llive, 2012: p.17)

- **Frosteado**

Es un proceso que nos permitirá dar un acabado a las prendas de vestir cuya finalidad es resaltar el color de la ropa, para este proceso se da la utilización de piedra pómez la cual es humedecida con permanganato de potasio.(Pupiales, 2014, p.18)

- **Fijación**

En esta etapa se evita que el colorante desaparezca de la tela, esto se logra con el uso de peróxido de hidrógeno o soluciones espesas, con esto se lograra que el color se quede sobre la superficie del estampado, las soluciones a ser usadas son de goma o dextrina.(Albuja y Llive, 2012: p.18)

- **Retención**

Para la retención del color en las prendas se da la utilización de resinas termoestables las cuales permiten la retención del colorante de los jeans.(Barrera, 2010, p.19)

- **Blanqueo**

Proceso cuya finalidad es la eliminación de lignina de las fibras de la ropa, este tratamiento se lo realiza con peróxido de hidrógeno, con este proceso se consigue resaltar las áreas blancas de la ropa.(Pupiales, 2014, p.19)

- **Suavizado**

El proceso de suavizado ayuda a mejorar la apariencia final de las prendas, se da el uso de suavizantes catiónicos los cuales tienen características similares a la de los detergentes. (Albia, 2017, p.12)

- **Lavado y Secado**

En las lavanderías textiles el uso de agua se da tomando en cuenta la relación de baño, esta relación nos ayuda a determinar la cantidad de agua que se deberá utilizar para el lavado la cual es la última etapa del proceso que lleva a cabo una lavandería conjuntamente con el secado de las prendas para eliminar la presencia de arrugas, la relación es del uso de 10 litros de agua por cada kilogramo de ropa.(Barrera, 2010, p.19)

### **2.2.2. Aguas Residuales**

Son fuentes de aguas que han sufrido la integración directa o indirecta de sustancias ajenas a este recurso inutilizándolo para el consumo humano y para su reutilización.(Maldonado y Molina, 2011, p.24)

La caracterización de los efluentes es necesaria para conocer las propiedades de las aguas residuales, con este proceso de identificación se logra conocer cuál es su estado antes de ser descargadas a los diferentes recursos hídricos. Los parámetros a ser tomados en cuenta dependerán del tipo de agua residual que se vaya a tratar.(Esparza, 2016, p.25)

Entre los tipos de aguas residuales tenemos:

- Aguas blancas
- Aguas negras
- Aguas residuales industriales
- Aguas residuales Agrícolas

**Tabla 3-2:** Clasificación de aguas Residuales

| Tipo de Agua Residual | Definición  |
|-----------------------|---|
| Blancas               | Generadas por actividades de limpieza en plazas, parques y lugares de acceso público, su origen también es del tipo atmosférico es decir que provienen de la lluvia u otro tipo de fenómeno como las nevadas.           |
| Negras                | Originadas por las personas en la eliminación de heces fecales y orina, este tipo de aguas presentan una elevada carga orgánica y microorganismos, en este tipo de aguas también hay la presencia de detergentes        |
| Industriales          | El origen de esta clase de aguas es debido al uso de diferentes sustancias de origen orgánico o inorgánico en los procesos que realizan las fábricas, presentan aceites, grasas, ácidos, colorantes, tensoactivos, etc. |
| Agrícolas             | Se originan en actividades en donde se involucra el riego agrícola o actividades agrícolas de otra índole en donde se involucre el uso de agua.   |

**Fuente:** Valdivieso, 2014, p.103

**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

Entre las fuentes que generan los efectos contaminantes del ambiente tenemos:

Fuentes de origen natural las cuales no provocan un daño desmedido en recursos como el agua, el suelo o el aire, en este tipo de contaminación tenemos los contaminantes orgánicos que se originan por los desechos fecales de animales, también la contaminación provocada por las emisiones gaseosas de los volcanes en erupción, etc. (Coronel y Tenesaca, 2013, p.26)

En lo que respecta a la contaminación por fuentes antropogénicas se considera las actividades de origen industrial como son la minería, textiles, construcción, etc., otro tipo de fuentes antropogénicas son los vertidos urbanos que se originan por actividades realizadas en el hogar. (Coronel y Tenesaca, 2013, p.26)

**Tabla 4-2:** Contaminantes generados en Fuentes Antropogénicas

| Industria    | Contaminantes Principales  |
|--------------|----------------------------|
| Textil       | Colorantes, DBO, DQO, pH.  |
| Construcción | Metales                    |
| Minería      | Metales pesados, cianuros  |
| Pinturas     | Compuestos organoestámicos |

**Fuente:** Coronel y Tenesaca, 2013, p.28

**Realizado por:** Andrés Lara, 2018

### **2.2.3. Aguas Residuales Textiles**

Las aguas residuales textiles tienen dos problemas a nivel ambiental: su alto consumo en los procesos de producción, y su tratamiento inadecuado. (Sanz , 2015, p.27)

#### *Contaminantes presentes en efluentes textiles*

Los efluentes de industrias textiles, incluyendo las lavanderías, tienen problemas relacionados a los colorantes, también pH alcalinos y valores de DBO y DQO moderadamente altos. (Barrera, 2010, p. 9; Sanz , 2015, p.30).

En la etapa de teñido, lavado y fijado se generan problemas en los parámetros de color, DBO, DQO, sólidos totales y pH (Ramos, 2017, p.39). Los sólidos en suspensión son problemáticos particularmente en lavanderías de lana (Maldonado y Molina, 2011: p.43). Entre los materiales considerados en suspensión constan las fibras utilizadas como materia prima. Se da una mayor concentración de estas en las lavanderías de lana, entre los efectos que provocan se tiene malos olores y afectación a todo tipo de vida que se encuentra en las aguas donde se descargan los efluentes. (Maldonado y Molina, 2011: p.43)

Entre las impurezas disueltas en los efluentes textiles tenemos a los colorantes llegando a generar toxicidad en el recurso hídrico donde se lo descargue, perjudicando a la vida acuática debido al bloqueo de luz que producen (Maldonado y Molina, 2011: p.43; Albuja y Llive, 2012: p.15)

Los procesos que generan contaminación por color son los procesos de teñido y lavado. (Albuja y Llive, 2012: p.14)

Los colorantes son fuentes importantes de contaminación debido a su resistencia a auto depurarse; es decir, el color se mantiene por largo tiempo en los recursos hídricos. La presencia de color en el agua reduce la penetración de luz solar, afectando a la fotosíntesis de la vegetación acuática, además hay resistencia del colorante a la biodegradación. Los metabolitos de las aguas residuales llegan a ser mutágenos y cancerígenos, llegando a afectar la salud de las personas que consuman aguas contaminadas por el efluente. (Ngulube et al., 2017, p.36; Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.2). Por lo general en las industrias textiles los colorantes quedan como basura industrial y se los descarga sin tratamiento previo a los recursos hídricos. (Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.2)

El consumo de colorantes en la industria textil bordea las 10 000 toneladas al año y 100 toneladas de colorantes son vertidas a las corrientes de agua. (Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.2)

#### **2.2.4. Caracterización de Efluentes Textiles**

##### *Parámetros Químicos*

#### **DBO y DQO**

Estos parámetros caracterizan la cantidad de oxígeno que demanda una muestra de agua, y está relacionada con la concentración de materia contaminante (DQO) y materia orgánica (DBO) presentes. Valores altos indican mayor contaminación. (Re, 2010, p. 7)

#### **Potencial de hidrógeno (pH)**

Nos indicará si una sustancia es alcalina o ácida, si su valor está por encima de 7 será alcalina y si su valor está por debajo de este se considerará que la sustancia es ácida. (Albuja y Llive 2012: p.7)

##### *Parámetros Físicos*

#### **Color real**

Color real es el color del efluente cuando ha sido filtrado. (Giraldo, 1995, pp.5-7)

#### **Sólidos Totales y Sólidos Totales Suspendidos**

“Sólidos totales” son los residuos de materia que quedan una vez el efluente a sido sometido a un proceso de evaporización a temperaturas de 103 a 105 °C. “Sólidos totales suspendidos “son aquellos que permanecen en suspensión en el agua llegando a formar lodos depositados. (Ramos, 2017, pp.8-9)

### 2.2.5. Tratamientos de Aguas Residuales

“Canal” conducto que permitirá llevar el agua residual hasta un sistema de tratamiento.

“Vertedero” permite el paso controlado y libre del efluente. Existen diferentes tipos de vertederos entre los cuales constan los del tipo rectangular, trapezoidal, circular y triangular.

**Tabla 5-2:** Tipos de Vertederos

| <b>Vertedero</b>      | <b>Función</b>  |
|-----------------------|---|
| Vertedero Circular    | Su única ventaja es evitar el nivelamiento de la cresta                     |
| Vertedero Triangular  | Vertederos que permiten tener medidas más exactas de los caudales reducidos |
| Vertedero Trapezoidal | Vertederos encargados de compensar el decrecimiento de los caudales         |
| Vertedero Rectangular | Vertederos cuya cresta es perfectamente horizontal                          |

**Fuente:** Delgado, 2015, pp.35-37

**Realizado por:** Andrés Lara, 2018

### Tratamientos Preliminares

Son aplicados para eliminar materia cuyo tamaño puedan afectar los procesos siguientes de un sistema de tratamiento de aguas. Entre estos procesos están el uso de barreras (rejillas) o mallas para limpiar el agua de materiales de grandes dimensiones que podría bloquear las tuberías, por ejemplo, papeles, troncos de madera, plástico, etc. (Erward, 2001,p.2 )

**Tabla 6-2:** Tipos de Tratamientos Preliminares

| <b>Tratamientos</b> | <b>Función</b>   |
|---------------------|--|
| Rejillas            | Usados para la eliminación de sólidos en suspensión de tamaños mayores a 2 mm. |
| Trituradores        | Se los utiliza para la reducción del tamaño de los sólidos suspendidos.        |
| Desarenadores       | Eliminación de arena.  |
| Desengrasadores     | Para la remoción de grasa utilizando tanques desnatadores.                     |
| Pre-aireación       | Proceso utilizado para la eliminación de compuestos volátiles.                 |

**Fuente:** Delgado, 2015, p.13

**Realizado por:** Andrés Lara, 2018

## Tratamientos Primarios

Uso de procesos químicos o mecánicos para la eliminación de sólidos en suspensión de tamaños pequeños. (Delgado, 2015, p.13)

**Tabla 7-2:** Tipos de Tratamientos Primarios

| <b>Tipos de Tratamientos Primarios</b> | <b>Función</b>  |
|--|---|
| Sedimentación Primaria                 | Ayuda a la separación de partículas del efluente por efecto de la gravedad  |
| Coagulación, Floculación               | Uso de coagulantes del tipo polimérico para formar partículas densas lo cual facilitará su separación del efluente. |

**Fuente:** Delgado, 2015, p.14

**Realizado por:** Andrés Lara, 2018

## Tratamientos Secundarios

Los tratamientos secundarios buscan la eliminación de partículas que no han podido ser eliminadas con el tratamiento primario. En esta etapa se usan sistemas mecánicos y biológicos combinados:

“Precolación” o “Filtrado” que son filtros ubicados en un tanque circular, el cual es rociado continuamente por las aguas a ser tratadas.(Erward, 2001,p.5 )

“Tratamiento anaerobio” es el uso de microorganismos que trabajan en ausencia de oxígeno ejecutando el proceso de digestión en reactores de primera o segunda generación.(Erward, 2001,pp.6-7 )

**Tabla 8-2:** Tipos de Tratamientos Secundarios

| <b>Tipos de Tratamientos Secundarios</b> | <b>Función</b>  |
|--|---|
| Lechos Bacterianos                       | Uso de películas biológicas que ayudan a reducir la contaminación orgánica. |
| Filtros Biológicos                       | Uso de filtros para soportar biomasa.                                       |
| Sedimentación secundaria                 | Utilizada para la eliminación de flóculos.                                  |

**Fuente:** Delgado, 2015, pp.15-16

**Realizado por:** Andrés Lara, 2018

## Tratamiento Terciario

Son aquellos tratamientos utilizados para elevar la calidad de agua a niveles mayores que los alcanzados con los tratamientos secundarios. Algunos tratamientos terciarios son el filtrado, lagunaje, adsorción, etc. En los tratamientos terciarios se busca la depuración de compuestos tóxicos, materia orgánica, sólidos disueltos,colorantes etc. (Re, 2010, p.28)

**Tabla 9-2:** Tipos de Tratamientos Secundarios

| <b>Tipos de Tratamientos Terciarios</b> | <b>Función</b>  |
|---|---|
| Filtración                              | Proceso a través del cual se logra separar los sólidos con densidad aproximadamente iguales a las del efluente. |
| Adsorción                               | Es la capacidad de captación de sustancias como colorantes en la superficie de un sólido.                       |
| Lagunaje                                | A través de macrófitos se logra mejorar biológicamente el agua.   |
| Desinfección                            | Eliminación de microorganismos a través de radiación UV.  |

**Fuente:** Delgado, 2015, pp.15-16

**Realizado por:** Andrés Lara, 2018

### **2.2.6. Adsorción**

Es un fenómeno del tipo superficial en donde se genera la acumulación de una sustancia en la superficie de otra.(Bustamante, 2011, p.6)

La adsorción es un fenómeno de interfase, sea líquido-líquido, líquido-gas, sólido-líquido. En el presente trabajo el proceso fue sólido-líquido puesto que se utilizó arcilla como material adsorbente, ocurriendo la captación de moléculas, ocurre mediante la presencia de interacciones físicas y químicas (Re, 2010, p.29), denominándose “Adsorbato” a la sustancia que se acumula en la superficie y “Adsorbente” al material sobre el cual se retienen las moléculas de adsorbato.(Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.3)

#### **Quimisorción vs Fisorción**

En la quimisorción se producen interacciones químicas (puentes hidrógeno, enlaces covalentes) entre el adsorbente y los adsorbatos; por otro lado, la fisorción involucra interacciones más débiles (fuerzas de Van der Waals, atracción entre dipolos).(Re, 2010, p.30)

En la mayoría de los adsorbentes la adsorción que se presenta es la adsorción física o fisorción. (Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.4)

Los factores que influyen en la capacidad de adsorción son la interacción entre adsorbato y adsorbente, área superficial del adsorbente, tamaño de partículas involucradas y tiempo de contacto. (Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.4)

## 2.2.7. Arcillas

### *Definición*

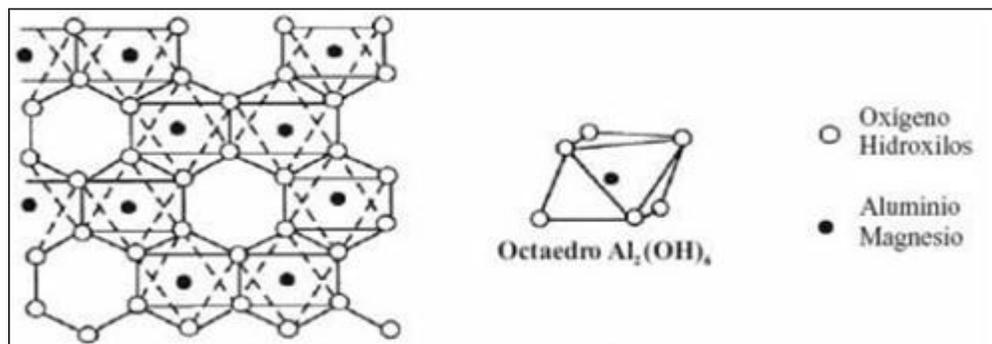
Las arcillas son una familia de minerales de roca sedimentaria, compuestos por complejos de filosilicatos hidratados con aluminio, a su vez que están acompañados de yeso, feldespato y cuarzo como impurezas, poseen plasticidad y capacidad de endurecerse al ser sometidas a temperaturas de calcinación o secado.(De Pablo, 1964, p.49). Las arcillas pertenecen a la fase sólida inorgánica del suelo, dicha fase se utiliza para procesos de caracterización de suelos, en esta fase la arcilla viene acompañada de materia orgánica y óxidos.(Besoain, 1985, p.22)

### *Estructura de las Arcillas*

Las arcillas se incluyen dentro de la familia de los filosilicatos debido a su estructura laminar, este tipo de estructura se da por la presencia de capas tetraédricas ( $\text{SiO}_4$ )<sup>4-</sup> y octaédricas ( $\text{AlO}_6/\text{MgO}_6$ ). (Martinez, 2017, p.14)

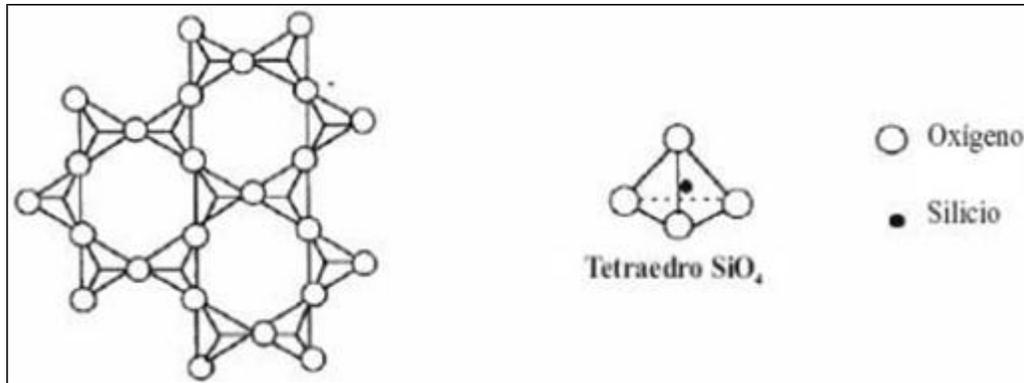
En las capas tetraédricas tenemos se tiene la presencia de iones silicio, los cuales a su vez están rodeados de cuatro átomos de oxígeno con los cuales se van formando apilamientos de las capas, en las unidades octaédricas tenemos la presencia de seis grupos hidroxilos los cuales rodean un átomo de magnesio o aluminio.(Peña, 2013, p.6)

En los grupos tetraédricos se tiene ion  $\text{Si}^{4+}$  que puede ser remplazado por cationes de aluminio o hierro. Las estructura octaédrica presentan iones  $\text{Al}^{3+}$  que pueden ser sustituidos por iones cromo, manganeso o zinc.(Martínez ,2017, p.14)

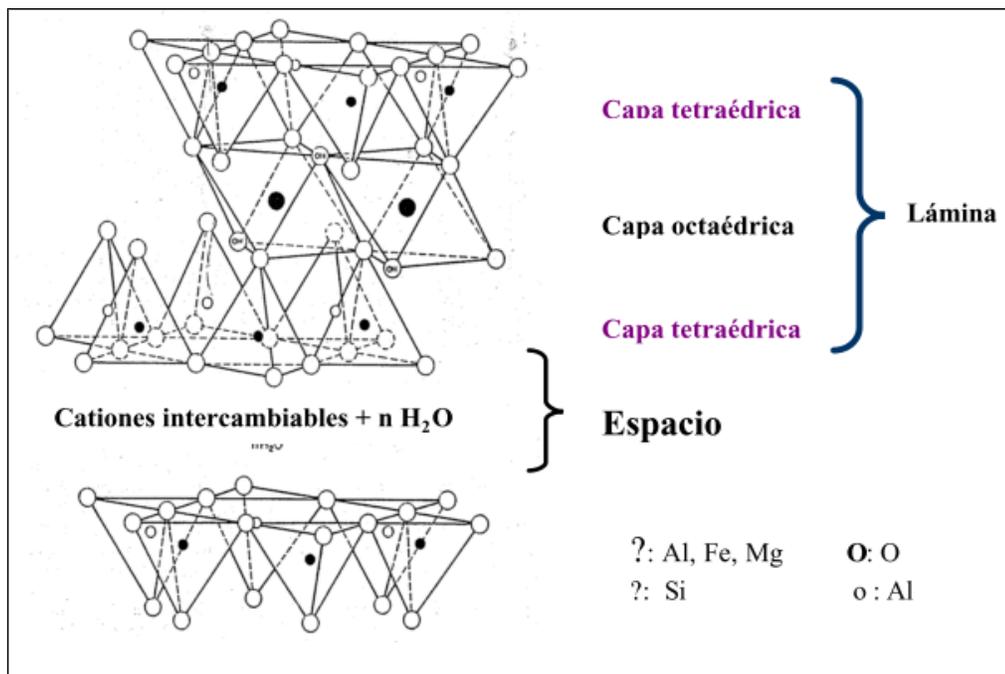


**Figura 5-2:** Estructura Octaédrica

Fuente: Martinez ,2017, p.14



**Figura 6-2:** Estructura Tetraédrica  
**Fuente:** Martínez, 2017, p.14



**Figura 7-2:** Estructura Laminar Arcillas  
**Fuente:** Tuesta et al., 2005, p.27

Las arcillas se caracterizan por poseer iones intercambiables en su superficie, esta capacidad es de suma importancia, ya que permitirá al material arcilloso eliminar contaminantes mediante la adsorción de sus iones. (Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.9) además de ser usadas como adsorbentes, productos de tipo fármaco, etc.(Peña, 2013, p.6)

### Lámina

Se denomina lámina a la unión ocurrida entre una capa octaédrica y una tetraédrica.(García y Suárez , 2004, p.5).

## **Interlámina**

Son los espacios que existen entre dos láminas que se encuentran en posiciones consecutivas. El conjunto de láminas e interláminas se conoce como **unidad estructural**. (García y Suárez , 2004, p.5)

### *2.2.7.1. Clasificación de las Arcillas*

La clasificación de los filosilicatos (arcillas) se basa en su distribución estructural entre este tipo de arcillas tenemos:

## **Filosilicatos Bilaminares**

### *Caolinitas*

Grupos de arcillas que se forman por la superposición de las láminas alumínicas y sílicas, la unión de las láminas, por su fuerza, no permite el ingreso de moléculas o iones en su interlámina. (Beltrán ,2009, p.9)

Entre los minerales pertenecientes a las caolinitas están la nacrita, la dickita y la halloisita. (Peña, 2013, p.6)

### *Illitas*

Formadas por la presencia entre dos sílicas de una sola lámina alumínica. Presentan una limitada expansión debido a la reducción de su área expuesta frente al agua. (Beltrán , 2009, p.9; Ibáñez et al., 2002: p.8)

## **Filosilicatos trilaminares**

### *Vermiculitas*

Grupos de hidrosilicatos formados por magnesio o hierro de color miel y estructura laminar. Presenta una capacidad de expansión aumentada al ser calentada a altas temperaturas. Ibáñez et al., 2002: p.10)

### *Esmectitas*

Grupo de filosilicatos donde sus composiciones pertenecen tanto a los silicatos magnésicos como aluminicos hidratados de sodio, magnesio, hierro, calcio y litio. En su estructura todas las posiciones de la capa tetraédrica están ocupados por átomos de silicio y las posiciones de la capa octaédrica están ocupadas por átomos de aluminio. Otra característica de la estructura de este grupo de arcillas es que son eléctricamente neutras. (Largo y Villamarin, 2013, pp.30-31)

Entre las clases de esmectitas más representativas se tiene a la montomorillonita, pirofiuta, talco, hectorita, saponita y stevencita. (Largo y Villamarin, 2013, p.31)

### *Sepiolitas*

Son arcillas que químicamente son un silicato de magnesio con propiedades reológicas, se presentan en forma fibrosa y poseen colores varios como amarillo, verde o rosa. (Peralta y Ramirez, 1998, p.2)

### *Attapulgitas*

Filosilicatos formados por estructuras de tetraedros de cadena doble los cuales se extienden en una sola dirección, las capas tetraédricas se distribuyen en bandas continuas uniéndose entre sí. (Besoain, 1985, pp.484-485)

### **Filosilicatos tetralaminares**

#### *Cloritas*

Filosilicatos tetralaminares abundantes en los sedimentos del océano pacífico, presenta una variación en la capa unitaria señalando la presencia de reemplazos isomórficos en la capa octaédrica, la clorita presenta una composición triocataédrica. (Besoain, 1985, pp. 446-447)

#### 2.2.7.2. *Propiedades fisicoquímicas de las arcillas*

Las arcillas presentan peculiaridades en sus propiedades fisicoquímicas lo que lleva a su uso en diferentes ámbitos de la industria, desde su uso en cerámica hasta su utilización como material de adsorción. Las capacidades que presentan las arcillas para dichos usos radican en su morfología

laminares y a la presencia de cargas producto de las sustituciones, estas características llevan a que las arcillas posean sitios activos y áreas de superficie de alto valor dando lugar a que estos materiales presenten una elevada capacidad de intercambio catiónico .(Martinez, 2017, p.19)

Entre las características fisicoquímicas más sobresalientes tenemos:

### **Área Superficial**

El área superficial de las arcillas es definida como el área superficial externa más el área superficial interna de las partículas constituyentes del material arcilloso por unidad de masa expresada en gramos ( $\text{m}^2\text{g}^{-1}$ ). (Peña, 2013, p.8)

### **Capacidad de hinchamiento**

Se explica por el ingreso de moléculas de agua o soluciones acuosas en los espacios interlaminares lo que conlleva a la hidratación de los cationes presentes en las regiones interlaminares. (Peña, 2013, p.9)

### **Tamaño de partícula**

Las arcillas presentan tamaños pequeños de sus partículas dándoles a su vez una gran área superficial, el tamaño de las mismas son influenciados por los materiales que provienen de la roca madre. (Jara, 2018,p.26)

### **Plasticidad**

Esta característica surge debido a la presencia de moléculas de agua en las láminas de las arcillas llevando a la formación de recubrimientos que lubrican las láminas que generan un deslizamiento entre ellas. (García y Suárez , 2004, p.10)

### **Tixotropía**

Es la pérdida de resistencia durante el proceso de agitación de las arcillas que se encuentran en suspensión y la recuperación de la misma una vez cesado el movimiento. (Martinez, 2017,p.20)

## **Capacidad de Intercambio Catiónico**

Es la capacidad que presentan las arcillas para intercambiar iones presentes en la superficie externa o espacios internos de sus cristales con iones existentes en soluciones acuosas con las que la arcilla interactúe, sus unidades son unidades de miliequivalentes de cationes que se intercambian por cada 100g de material arcilloso. (Martinez, 2017, p.20)

### *2.2.7.3. Caracterización de arcillas*

#### *Caracterización Química*

#### **Fases minerales**

Se lleva a cabo por estudios de difracción de rayos x, y debe llevarse a cabo en condiciones donde las arcillas se encuentren próximas a su estado natural. En este tipo de análisis la purificación juega un papel importante debido a que la presencia de materia orgánica no permitirá que se determine de manera adecuada los grupos funcionales. (De Pablo, 1964, p.67; Besoain, 1985, p.17)

#### **Composición química**

Su estudio se lleva a cabo por fluorescencia de rayos x lo cual nos permitirá determinar las mezclas de óxidos de los minerales arcillosos. (Ramos, 2018, p.10)

#### *Caracterización Física*

#### **Granulometría**

Análisis realizado para determinar el tamaño de las partículas de las arcillas, se basa en el uso de tamices, que mediante distintas luces de malla ayudan a retener distintos tamaños de partículas. (De Pablo, 1964, p.70)

#### **Sensación al tacto**

Permite percibir características áridas, plásticas y untuosas de las arcillas. (De Pablo, 1964, p.68), desde un punto de vista organoléptico, los suelos arcillosos generan una sensación plástica o de

adherencia; la sensación de la arena es áspera y la sensación sedosa corresponde a suelos con presencia de limos o arcillas ligeras. (Ciancaglino, 2015, pp.3-5)

### Consistencia

Permite determinar la resistencia que presenta el material arcilloso frente a su fragmentación. (De Pablo, 1964, p.72)

### Color

El color está relacionado con la materia orgánica presente, así como también con la composición mineralógica del material arcilloso.(De Pablo, 1964, p.68). Para ello se usa Tabla de Munsell. (Casanova, 2005, p.169)

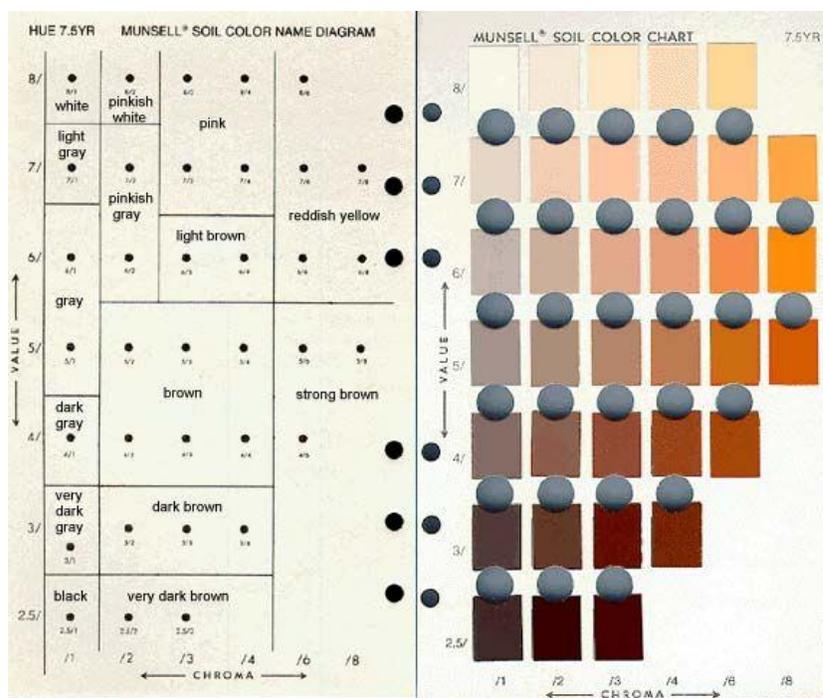


Figura 8-2: Tabla de Munsell

Fuente: Casanova, 2005, p.169

## *Análisis textural*

### **Textura**

Es la proporción de partículas de diferente tamaño que constituyen a los suelos. La textura es un indicativo de la forma en que están unidas y compactadas las partículas. (Besoain, 1985, p.18)

Las fracciones de gránulos que posee el suelo se clasifican de la siguiente manera:

**Tabla 10-2:** Tamaño del gránulo

| <b>Denominación de los Gránulos</b> | <b>Tamaño</b>     |
|-------------------------------------|-------------------|
| Gravas                              | >2000 micrones    |
| Arena Gruesa                        | 200-2000 micrones |
| Arena Fina                          | 20-200 micrones   |
| Limo                                | 2 - 20 micrones   |
| Arcilla                             | 2 micrones        |

**Fuente:** (Ciancaglini , 2015, p.1). La textura del suelo

**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

### **2.2.8. Purificación de Arcillas**

Las arcillas generalmente se encuentran mezcladas con otro tipo de minerales o compuestos. (Bergaya y Lagaly, 2013, p.213). La importancia de purificarlas radica en identificar el porcentaje real de minerales arcillosos y óxidos mediante difracción y fluorescencia de rayos x. (Bergaya y Lagaly, 2013, p.213)

### **Proceso de Purificación**

El proceso de purificación de arcillas es el siguiente:

- 1) Eliminación de carbonatos
- 2) Eliminación de materia orgánica
- 3) Homogeneización de iones de la estructura

La purificación de carbonatos y materia orgánica son las más importantes debido a su elevada presencia en los minerales de arcilla. (Besoain, 1985,pp.17-21)

## **Descomposición de Carbonatos**

La descomposición de carbonatos se realiza con la adición de ácido clorhídrico 2M controlando el pH y no dejando que sea menor que 4,5 puesto que el ácido comenzará a atacar la estructura de la arcilla. El tiempo de descomposición será efectivo en un lapso de dos días.(Bergaya y Lagaly, 2013, pp.214-215)

## **Remoción de materia orgánica**

La oxidación de la materia orgánica se realiza con peróxido de hidrógeno. Este proceso oxida los compuestos orgánicos en CO<sub>2</sub>. Se recomienda agregar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10% una vez se han descompuesto los carbonatos. En este tipo de reacción se generan espumas; para evitarlas se recomienda agregar el peróxido lentamente y calentando a temperaturas de 60 o 70 °C, luego se procede a lavar el material con agua.(Bergaya y Lagaly, 2013, pp.216-217)

## **Homogeneización de iones en la estructura**

Si hay arcillas dispersas agregar NaCl 2M en pequeñas cantidades para coagular la dispersión, el exceso de sales generalmente es removido con lavados de la arcilla en agua una vez se realizaron los tratamientos anteriormente expuestos. (Bergaya y Lagaly, 2013, pp.217-218)

### **2.2.9. Arcillas como adsorbentes de color de efluentes textiles**

El uso de colorantes, en especial de tina (índigo), representa un 15% del consumo de tintes en las textileras. Entre estos colorantes se encuentra el color índigo el cual es hidrosoluble. (Chaari et al., 2009, p.1623)

Actualmente la mayoría de textileras usan diatomita de sodio para eliminar colorantes del agua, pero su uso es perjudicial desde el punto de vista ambiental. (Chaari et al., 2009, p.1623) Una alternativa es la adsorción de colorantes a través de arcillas. (Yagub, Sen, Afroze, & Ang, 2014,p.9)

La remoción de color con arcillas adsorbentes se enmarca dentro de los tratamientos terciarios, ocurriendo la retención de dichos colorantes por fisiadsorción. Además, hay evidencia de que los iones adsorbidos pueden desprenderse de la superficie del adsorbato con facilidad. (Martinez, 2017, p.5)

La química superficial de las arcillas les da una alta flexibilidad en los procesos de adsorción dicha química involucra la capacidad de intercambio catiónico, el área de la superficie específica y la capacidad para retener el agua. Las arcillas pueden ser usadas como adsorbentes en estado natural pero someterlas a tratamientos diversos hipotéticamente mejoran su capacidad de adsorción. (Ngulube et al., 2017, p.39)

Los minerales de las arcillas presentan una elevada atracción por los cationes o aniones de los colorantes. Los parámetros de adsorción de colorantes como el azul de metileno y el verde malaquita son tres veces más altos que la adsorción de colores como el rojo Congo. Las arcillas adsorberán mejor colorantes básicos ya que poseen cationes en su estructura y estos son atraídos más fácilmente a las arcillas. (Ngulube et al., 2017, p.39)

#### **2.2.10. Tratamientos que afectarán la capacidad de adsorción de las arcillas**

Buscan modificar su capacidad de adsorción, sea aumentando su área superficial, modificando el tamaño de los poros, cantidad de sitios activos o la química superficial. Por otro lado, los iones presentes en las arcillas permiten realizar el intercambio iónico con los colorantes sin afectar la estructura del mineral arcilloso. (Kausar et al., 2018, p.10)

Para los tratamientos ácidos, básicos y térmicos se recomienda trabajar con tamaños de partícula <150  $\mu\text{m}$ , con estos tamaños se asegura una mejor capacidad de adsorción del colorante. (Saif Ur Rehman et al., 2013: pp.54-55)

#### **Proporción arcillas y sustancias para el tratamiento**

Se recomienda el uso de una relación de 1 g de arcilla por cada 10 mL de ácido o base usada en el tratamiento, puesto que esta relación previene la destrucción de la estructura de la arcilla. (Hor et al., 2016, pp.2-4)

- **Tratamiento Ácido**

Los tratamientos ácidos ayudan a mejorar el área específica de las arcillas, durante el tratamiento se produce el ingreso de protones en las posiciones intercambiables de las arcillas y en las estructuras octaédricas una parte de los cationes presentes se disuelven creando sitios activos en la estructura de las arcillas, logrando mejorar la porosidad de las arcillas. (Chaari et al., 2009, p.1624). El tratamiento ácido es uno de los métodos más comunes para generar la modificación química de las arcillas, el proceso consiste en hacer reaccionar los minerales de las arcillas con ácidos minerales entre lo que

más se utilizan esta el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico. (Komadel y Madejová, 2013, p.385)

- **Tratamiento Básico**

El tratamiento básico de las arcillas provoca que el aluminosilicato amorfo, el sílice y la alumina libre se disuelvan generando más espacios libres en las arcillas mejorando su capacidad de adsorción.(Mu y Wang, 2016, p.10)

Al tratar las arcillas con compuestos alcalinos estos afectarán la morfología de las arcillas, el factor más significativo que se debe considerar en estos tipos de tratamientos es la concentración de hidróxido de sodio u otro tipo de sustancia alcalina que se vaya a utilizar. El efecto de los hidróxidos se centrará en la textura de la capa compuesta del tetraedro de O-Si y del octaedro de Mg(Al)-O destruyéndolas total o parcialmente, la estructura de las arcillas se podrá controlar ajustando las concentraciones de la solución del hidróxido. (Hor et al., 2016, p.5)

- **Tratamiento Térmico**

Al trabajar con temperaturas por encima del proceso de deshidratación y por debajo de la deshidroxilación se producirán cambios en los espacios intercalados a la vez que la arcilla perderá el agua adsorbida e hidratada. (Heller-Kallai, 2013, p.412)

Las ventajas que presenta el proceso de tratamiento térmico es que se lo puede realizar sobre las arcillas sin que estas hayan tenido un tratamiento previo.(Heller-Kallai, 2013, p.413)

## CAPITULO III

### 3. MARCO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Lugar y pruebas de estudio

Las muestras de arcillas seleccionadas fueron de los afloramientos que tenían facilidad de acceso, las localidades a seleccionar fueron: Cacha, Licán y Chambo.

Las muestras de efluente de industria de teñido fueron tomadas de la empresa “Jordan Jeans”, ubicada en el cantón Pelileo.

Las partes de análisis y experimentación se ejecutaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencia, según el siguiente detalle:

- Operaciones Unitarias y de Procesos Industriales: reducción primaria, triturado y tamizado de arcillas.
- Química Analítica e Instrumental: purificación, tratamientos térmico, ácido y básico de las arcillas.
- Calidad del Agua: determinación de remoción de colorante del efluente por las arcillas estudiadas.

#### 3.2. Materiales y Equipos

**Tabla 1-3:** Triturado y Tamizado de arcillas

| Materiales  |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Combo (mazo) de 10 kg</li><li>• Tamiz de 150 y 100 <math>\mu\text{m}</math></li></ul> |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

**Tabla 2-3: Purificación de arcillas**

| Equipos   | Materiales   |
|---|--|
| Campana de extracción de gases<br>pH-metro<br>Reverbero<br>Secador<br>Equipo de filtración al vacío | Pipeta de 10 mL<br>Vasos de precipitación<br>Pera de succión<br>Varilla de agitación<br>Papel filtro<br>Termómetro |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

**Tabla 3-3: Tratamiento de arcillas**

| Equipos   | Materiales   |
|---|--|
| Campana de extracción de gases<br>pH-metro<br>Reverbero<br>Secador<br>Equipo de filtrado al vacío | Pipeta de 10 mL<br>Vasos de precipitación<br>Pera de succión<br>Varilla de agitación<br>Termómetro<br>Papel Filtro |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

**Tabla 4-3: Muestreo y Caracterización Efluente Textil**

| Equipos   | Materiales   |
|---|--|
| Fotómetro<br>Digestor DQO<br>Espectrofotómetro<br>Equipo de filtrado al vacío<br>Pipeta<br>Piseta<br>Tubos o ampollas de digestión<br>Espectrofotómetro<br>Botellas de incubación<br>Incubadora de aire o baño de agua<br>Equipo multiparamétrico<br>Placas de evaporación<br>Porcelana<br>Platino<br>Vidrio alto en sílice<br>Horno mufla<br>Equipo para baño de vapor<br>Desecador<br>Horno de secado<br>Balanza analítica<br>Agitador magnético<br>Pipetas de calibre ancho<br>Cilindro graduado<br>Vasos de precipitación de baja forma | Botellas plásticas<br>Filtros de fibra de vidrio<br>Probetas<br>Pipeta<br>Pera de succión<br>Membrenas de policarbón (12 µm)<br>Botellas de incubación |

Realizado Por: Andrés Lara, 201

**Tabla 5-3:** Tratabilidad del efluente

| <b>Equipos</b>              | <b>Materiales</b> |
|-----------------------------|-------------------|
| Fotómetro                   | Probetas          |
| Balanza analítica           | Pipeta            |
| Equipo de agitación         | Pera de succión   |
| Equipo de filtrado al vacío |                   |

**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

### **3.3. METODOLOGÍA**

#### **3.3.1. Hipótesis y Especificación de Variables**

##### **Hipótesis**

###### *Hipótesis General*

- Las arcillas de la Provincia de Chimborazo son factibles de uso para la remoción de colorantes en efluentes de la industria textil.

###### *Hipótesis Específicas*

- La caracterización físico-química de los efluentes textiles supera el límite dado por el TULSMA en el aspecto de color.
- Las características fisicoquímicas y texturales de las arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo permiten su aplicación en la remoción de colorantes de efluentes textiles.
- La aplicación de arcillas naturales y modificadas reducirán la carga de colorante de efluentes textiles.
- La aplicación de las arcillas redujo la carga contaminante por colorantes hasta el límite permitido por la Norma.

##### **Especificación de las Variables**

###### *Hipótesis Específica I*

*“La caracterización físico-química de los efluentes textiles supera el valor dado por el TULSMA en el aspecto de color.”*

- **Variable Dependiente:** Cumplimiento de parámetros referidos en la Norma.
- **Variable Independiente:** Características fisicoquímicas de los efluentes textiles. antes de ser tratados.

#### *Hipótesis Específica II*

*“Las características fisicoquímicas y texturales de las arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo permiten su aplicación en la remoción de colorantes de efluentes textiles.”*

- **Variable Dependiente:** Clasificación y definición del tipo de arcillas.
- **Variable Independiente:** Características físico-químicas de las arcillas de las arcillas seleccionadas.

#### *Hipótesis Específica III*

*“La aplicación de arcillas naturales y modificadas reducirán la carga de colorante de efluentes textiles.”*

- **Variable Dependiente:** Remoción de colorantes.
- **Variable Independiente:** Arcillas seleccionadas en estado natural y con tratamientos.

#### *Hipótesis Específica IV*

*“La aplicación de las arcillas redujo la carga contaminante por colorantes hasta el valor permitido por la Norma.”*

- **Variable Dependiente:** Grado de cumplimiento en referencia al TULSMA.
- **Variable Independiente:** Remoción de colorantes obtenidos con diferentes arcillas y tratamientos.

### 3.3.2. Matriz de Consistencia

| Problema General  |   | Objetivo General  |   | Hipótesis General  |
|---|---|---|---|--|
| ¿En qué medida es factible el uso de arcillas para la remoción de colorantes en efluentes de la industria textil?   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar el estudio de la factibilidad del uso de arcillas de la Provincia de Chimborazo para la remoción de colorantes en efluentes de la industria textil.</li> </ul>  |   | Las arcillas de la Provincia de Chimborazo son factibles de uso para la remoción de colorantes en efluentes de la industria textil   |
| Problemas Específicos   | Objetivos Específicos   | Hipótesis Específicas   | VARIABLES Específicas   | Métodos de Análisis  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué parámetros fisicoquímicos presentes en los efluentes textiles?</li> <li>¿Qué características fisicoquímicas presentan las arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo?</li> <li>¿En qué medida producirá la remoción de colorantes en los efluentes textiles la aplicación de arcillas naturales y modificadas?</li> <li>¿En qué medida la carga contaminante por colorantes se redujo por la aplicación de las arcillas seleccionadas?</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar la caracterización físico-química de efluentes textiles en base al “TULSMA LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA”, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de noviembre del 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.</li> <li>Caracterizar las arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo desde un punto de vista fisicoquímico y textural</li> <li>Aplicar las arcillas seleccionadas, en estado natural y modificadas, en la remoción de colorantes de muestras de efluentes textiles.</li> <li>Valorar la remoción de colorantes obtenida por la aplicación de las arcillas seleccionadas, en referencia al “TULSMA LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA”, Acuerdo Ministerial 387 del 4 de noviembre del 2015, Tabla 9, límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>La caracterización físico-química de los efluentes textiles supera el valor dado por el TULSMA en el aspecto de color.</li> <li>Las características fisicoquímicas y texturales de las arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo permiten su aplicación en la remoción de colorantes de efluentes textiles</li> <li>La aplicación de arcillas naturales y modificadas reducirán la carga de colorante de efluentes textiles</li> <li>La aplicación de las arcillas redujo la carga contaminante por colorantes hasta el valor permitido por la Norma</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Características físico-químicas de los efluentes textiles antes de ser tratados</li> <li>Cumplimiento de parámetros referidos en la Norma</li> <li>Características fisicoquímicas y texturales de las arcillas seleccionadas.</li> <li>Clasificación y definición de tipos de arcillas</li> <li>Arcillas seleccionadas, en estado natural y con tratamiento.</li> <li>Remoción de colorantes</li> <li>Remoción de colorantes obtenidos con diferentes arcillas y tratamientos</li> <li>Grado de cumplimiento, en referencia al TULSMA</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Fotométricos</li> <li>Volumétricos</li> <li>Gravimétricos</li> <li>Análisis textural</li> <li>Difracción de rayos x</li> <li>Fluorescencia de rayos x</li> <li>Análisis documental</li> </ul> |

### 3.4. Diseño y Tipo de Investigación

#### 3.4.1. Tipo de Investigación

##### Según su proceso:

- **Hipotética-deductiva:** Es Hipotética-deductiva debido a que con la experimentación se validó las hipótesis deduciendo que las arcillas estudiadas son factibles para remover colorantes.

##### Según el ámbito:

- **Aplicativa:** Ya que se buscó que el tema de investigación resuelva el problema de contaminación por colorantes que generan las industrias textiles.

##### Según su trabajo:

- **Bibliográfica:** Se revisó investigaciones de arcillas tratadas y usadas en la remoción de colorantes con lo que se determinó los parámetros para su tratamiento y para su dosificación en el efluente.
- **Cuasi-experimental:** Es cuasi experimental debido a que no se tuvo un control total de las variables de los efluentes y de arcillas.

##### Según su profundidad:

- **Descriptiva:** Se estudió las características de las arcillas y de los efluentes textiles.
- **Correlacional:** Se estableció la relación de dosis de los tratamientos para purificar y tratar las arcillas a su vez que se buscó una relación cantidad de arcilla/ volumen de efluente.
- **Exploratoria:** Se hizo un primer acercamiento sobre el uso de arcillas de la provincia de Chimborazo para remoción de color.
- **Explicativa:** Se determinó el efecto de las arcillas sobre las aguas residuales.

### **3.4.2. Diseño de la Investigación**

En primera instancia se ejecutó la revisión bibliográfica de fuentes técnicas y científicas para definir los tratamientos que se iban aplicar sobre las arcillas estudiadas. El siguiente paso consistió en el muestreo de los tres tipos de arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo, que luego se llevaron a purificación para su análisis químico. A continuación, se aplicaron los tratamientos seleccionados y se realizó la aplicación de las arcillas sobre muestras de efluentes de industrias de lavado lavado de jeans, las cuales fueron caracterizadas previamente con referencia a la Tabla 9 del TULSMA.

### **3.5. Unidad de análisis**

Corresponde a los resultados de remoción de colorante presenten en efluentes.

### **3.6. Población de Estudio**

Conformada por los efluentes textiles y minerales arcillosos de la Provincia de Chimborazo, específicamente de las locaciones de Cacha, Licán y Chambo, tanto en estado natural como con tratamientos ácido, básico y térmico.

### **3.7. Tamaño de la Muestra**

Se trabajó con un total de tres afloramientos de arcillas presentes en la Provincia de Chimborazo por motivos de acceso y obtención de la materia prima.

En cada afloramiento se realizaron 6 tomas de 2 kg de material, para luego someterlas a homogeneización y reducción primaria, seguidas de tamizado en luces de malla de 150  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$ .

La aplicación de las arcillas para tratamiento de los efluentes se efectuó en 6 repeticiones para cada tipo de arcilla (natural, tratamiento ácido, tratamiento básico, tratamiento térmico) y de cada locación (Cacha, Licán, Chambo).

### 3.8. Selección de la Muestra

Los afloramientos considerados para el estudio fueron los de las locaciones de Cacha, Chambo y Licán debido a la facilidad de acceso.

En el caso de los efluentes textiles se recopilaron muestras de la empresa “Jordan Jeans” por la facilidad ofrecida para el acceso a sus instalaciones, en particular a las aguas residuales listas para descarte como efluentes.

### 3.9. Técnicas de Recolección de Datos

En el proceso investigativo se recopiló y analizó información de las siguientes fuentes:

**Revisión Bibliográfica** de normas técnicas y bases de datos de publicaciones, especialmente de Science Direct.

**Toma de muestras de minerales arcillosos** siguiendo la Norma INEN NTE 695:2010.

**Toma de muestra de efluentes de lavandería** siguiendo la Norma NTE INEN 2169:98, misma que recomienda que la toma se realice en recipientes plásticos, teniendo precaución que el líquido residual cubra toda el área del recipiente. La medición de cantidad de muestra se hizo mediante método volumétrico, calculando en base al caudal, el tiempo de llenado de una botella de dos litros. Para preservación, la muestra se guardó en refrigerador a temperaturas de 2 a 5 °C. Posteriormente, las muestras de arcillas se homogeneizaron, redujeron y codificaron según se indica en el siguiente cuadro:

**Tabla 6-3:** Codificación muestras

| Naturales | Purificadas | Tratamiento Térmico | Tratamiento Ácido | Tratamiento Básico |
|-----------|-------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| CHCHNT    | CHCHPR      | CHCHTR              | CHCHAC            | CHCHBS             |
| CHLINT    | CHLIPR      | CHLITR              | CHLIAC            | CHLIBS             |
| CHCANT    | CHCAPR      | CHCATR              | CHCAAC            | CHCABS             |

Realizado por: Andrés Lara, 2018.

## **Caracterización Física**

- **Sensación al tacto**

Se tomó una pequeña cantidad de material y mezcla con agua para poder amasarla. Si al humedecerla esta se deshace antes de amasarla, la arcilla se la considerará “árida”; si al humedecerla y amasarla en forma de cilindro no queda rastros considerables de la arcilla en la palma de la mano, se la considerará una arcilla del tipo “plástica”; si la arcilla al humedecerla y al darle forma de cilindro deja una elevada cantidad de arcilla sobre la palma de la mano, se considera a la muestra como “untuosa”.

- **Consistencia**

Este ensayo nos permite determinar si la arcilla será suelta, frágil, firme y extremadamente firme. Esto se realiza tomando un fragmento del material y con los dedos índice y pulgar se presiona dicho fragmento. Se denomina “suelta”, cuando el fragmento de la arcilla se deshace antes de manipularlo; “frágil” si el pedazo de arcilla se rompe al ejercer la mínima presión sobre este; se denomina “firme” si resiste una presión moderada y, “extremadamente firme”, si al ejercer una alta presión el fragmento no se rompe fácilmente, sino que se requiere el uso de equipos para su fragmentación.

- **Determinación de Color**

Se compara una pequeña cantidad de material tomando con referencia con las tablas de munsell registrando el código de color igual o más próximo al de la muestra.

## **Caracterización Química**

Para la caracterización química se purificó las muestras de arcilla tamizadas a una luz de malla de 100 um eliminando carbonatos, materia orgánica y homogeneizando los iones en la estructura.

La composición mineralógica (fases minerales) se determina por difracción de rayos X, XRD, en tanto que la composición química, expresada como porcentajes de óxidos, se determina por fluorescencia de rayos X, XRF

## Análisis textural

- **Textura**

Se toma una cantidad de arcilla y se la humedece, se procede a amasarla siguiendo la siguiente secuencia e identificando hasta qué forma puede adaptar sin romperse.

**Tabla 7-3:** Textura

| Forma   | Textura          | Característica  |
|---|------------------|---|
|    | Arenoso          | Tamaños de partícula comprendidos entre 50 a 2000 $\mu\text{m}$ , la forma de la arcilla arenosa es la de una pirámide y es la única forma que puede adoptar. |
|    | Franco Arenoso   | La forma que adopta es la de una bola la cual puede separarse en dos, es pegajosa debido a las partículas finas que puede presentar                           |
|    | Franco Limoso    | La arcilla puede adoptar una forma cilíndrica   |
|  | Franco           | Tamaños de partícula comprendidos entre 2 a 50 $\mu\text{m}$ , la arcilla puede adoptar una forma de cilindro de 6 pulgadas y al doblarlo este se rompe       |
|  | Franco Arcilloso | Su característica principal es que se puede dar al material humedecido una forma de U.  |
|  | Arcilloso Limoso | El material humedecido adoptara forma de anillo.  |
|  | Arcilloso        | Comprende tamaños menores a 2 $\mu\text{m}$ adoptando una forma de anillo sin agrietamientos.   |

Fuente: Jara, 2018, p.37

Realizado por: Andrés Lara, 2018.

## Tratamientos

Las muestras de arcilla, trituradas y tamizadas a una luz de malla de 150 µm se sometieron a los siguientes tratamientos.

**Térmico:** Calentando 10 g de arcilla a 100°C.

**Básico:** Tratando 10 g de arcilla con 100 mL de Na (OH) 3 M.

**Ácido:** Tomando 10 g de arcilla, combinar con 100 mL de HCl 0,5 M.

## Caracterización Efluentes Textiles

Los efluentes se caracterizaron en referencia al TULSMA, LIBRO VI, ANEXO I: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, así como también en los métodos estándar usados en los laboratorios para la determinación de los parámetros. Particularmente, en el caso del “color real” se trabajó filtrándose cada muestra individual.

## DQO

**Tabla 8-3:** Método Espectrofotométrico 5220 D

| Materiales y Equipos   | Proceso   | Cálculo   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Espectrofotómetro</li><li>• Digestor DQO</li><li>• Pipeta</li><li>• Piseta</li><li>• Tubos o ampollas de digestión</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Medir un volumen adecuado del efluente y de los reactivos a utilizar con un tubo o ampolla de digestión.</li><li>• El reactivo es preparado en los tubos de digestión y el efluente se homogeniza junto a este.</li><li>• Una vez mezcladas las sustancias se las coloca en el digestor.</li><li>• Terminado el proceso de digestión la muestra debe ser enfriada a temperatura ambiente para evitar la formación de precipitados.</li><li>• Dejar que la materia suspendida se asiente.</li><li>• Se mide la absorción con el espectrofotómetro de la muestra.</li></ul> | $DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{mg \ O_2 \times 1000}{mL \ muestra}$ |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17.

Realizado Por: Andrés Lara, 2018.

pH

**Tabla 9-3:** Método electrométrico 4500 B

| Materiales y Equipos   | Proceso  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo multiparamétrico</li> <li>• Vasos de precipitación (100 mL)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe realizar la homogenización del agua residual.</li> <li>• Se coloca un volumen de 75 mL del efluente en los vasos.</li> <li>• Antes de proceder a la lectura se debe lavar los electrodos del equipo con agua destilada.</li> <li>• Los electrodos son introducidos en el efluente y en el equipo se selección la opción de pH y se obtiene el valor deseado.</li> </ul> |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17.

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

DBO

**Tabla 10-3:** Método de Incubación 5210 B

| Materiales y Equipos  | Proceso  | Cálculo  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Botellas de incubación</li> <li>• Incubadora de aire o baño de agua</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introducir un volumen del efluente con el agua de dilución en las botellas de incubación.</li> <li>• Se verifica el pH de la muestra si no está entre 6 y 8 se ajusta a 7 con ácido sulfúrico o hidróxido de sodio.</li> <li>• Se prepara una serie de disoluciones sucesivas y se las coloca en las botellas incubadoras.</li> <li>• Los frascos se conservan a temperaturas de 20 °C.</li> <li>• Pasado cinco días se mide el oxígeno que se ha disuelto en los cinco días que se ejecutó el proceso.</li> <li>• Se realiza un ensayo testigo para determinar la cantidad de oxígeno disuelto en la dilución.</li> <li>• El valor del oxígeno consumido se debe situar entre 0,5 y 1,5 g/l, sino se encuentra en dichos rangos el agua destilada no se la deberá utilizar para la inoculación.</li> </ul> | $DBO_5 \left( \frac{mg}{L} \right) = F(T_0 - T_5) - (F - 1)(D_0 - D_5)$ <p>Dónde:</p> <p>D0 (mg/L) = contenido en oxígeno del agua de dilución.<br/> D5 (mg/L) = Contenido de oxígeno pasado los cinco días de incubación.<br/> F = Factor de dilución<br/> T0 (mg/L) = Oxígeno contenido por una de las diluciones.<br/> T5 (mg/L) = Oxígeno contenido por una de las diluciones después de 5 días.</p> |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17.

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

## Sólidos Suspendidos Totales

**Tabla 11-3:** Método gravimétrico 2540D

| Materiales y Equipos   | Proceso  | Cálculo  |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Filtro fibra de vidrio</li> <li>Horno de Secado</li> <li>Balanza analítica</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pesar el filtro de fibra de vidrio estándar.</li> <li>1 L de muestra debe ser filtrado</li> <li>Retirar el filtro y secar durante 1h en intervalos de temperatura de 103 a 105°C</li> <li>Enfriar en un desecador y pesar.</li> </ul> | $\frac{mg \text{ sólidos totales}}{L} = \frac{(A - B)X 1000}{mL \text{ muestra}}$ <p>Dónde<br/>                     A= peso del filtro + residuo seco filtrado (mg)<br/>                     B= Peso del filtro mg</p> |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17.

Realizado Por: Andrés Lara, 2018.

## Sólidos Totales

**Tabla 12-3:** Método gravimétrico 2540 B

| Materiales y Equipos   | Proceso  | Cálculo   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Placas de evaporación</li> <li>Porcelana</li> <li>Platino</li> <li>Vidrio alto en sílice</li> <li>Horno mufla</li> <li>Equipo para baño de vapor</li> <li>Desecador</li> <li>Horno de secado</li> <li>Balanza analítica</li> <li>Agitador magnético</li> <li>Pipetas de calibre ancho</li> <li>Cilindro graduado</li> <li>Vasos de precipitación de baja forma</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Medir con una pipeta un volumen de muestra bien homogenizada, la homogenización se la realiza en un agitador magnético.</li> <li>Colocar la muestra en una placa de evaporación y pesarla, si solo se va hacer la medición de los sólidos totales, calentar la muestra a temperaturas de 103 a 105 °C por 1h, la muestra se calienta a baño vapor o en un horno de secado, el plato se deja enfriar en un desecador y se vuelve a pesar nuevamente la placa, el proceso se repite hasta obtener un peso constante.</li> </ul> | $\frac{mg \text{ sólidos totales}}{L} = \frac{(A - B)X 1000}{mL \text{ muestra}}$ <p>Dónde<br/>                     A= peso de la placa de evaporación más residuo secado<br/>                     B= Peso de la placa de evaporación</p> |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17.

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

## Color Real

**Tabla 13-3:** Método Hach 125

| Materiales y Equipos   | Proceso  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Fotómetro HACH</li><li>• Cubetas</li><li>• Equipo de filtrado al vacío</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Filtrar la muestra para determinar el color real</li><li>• Encender el Fotómetro</li><li>• Seleccionar la opción programas almacenados</li><li>• Elegir la opción color</li><li>• Lavar las cubetas del equipo con agua destilada</li><li>• Colocar primero el blanco en el equipo</li><li>• Luego en otra cubeta colocar la muestra del agua residual y medir la cantidad de color.</li></ul> |

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17.

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

### Aplicación de las arcillas en efluentes textiles

- 1) Se filtra la muestra de efluente con ayuda de una membrana filtrante.
- 2) Se prepara una dilución 1/3 y se mide el color real en unidades platino-cobalto, verificando el cumplimiento del requerimiento de la tabla 9 del TULSMA.
- 3) Se trata 100 mL de muestra de efluente mediante agitación por 2 h con 0,1 g de arcilla, seguido de un reposo de 1 h.
- 4) Se toman 10 mL del sobrenadante del efluente tratado, se diluyen en proporción 1/3 y se vuelve a medir el color real.
- 5) Paralelamente se realiza una dilución 1/20 del efluente tratado y se verifica si cumple con la Norma mencionada en la tabla 9 del TULSMA.

## CAPÍTULO IV

### 4. Resultados y Discusión

#### 4.1. Análisis de Resultados

##### 4.1.1. Caracterización física y análisis textural

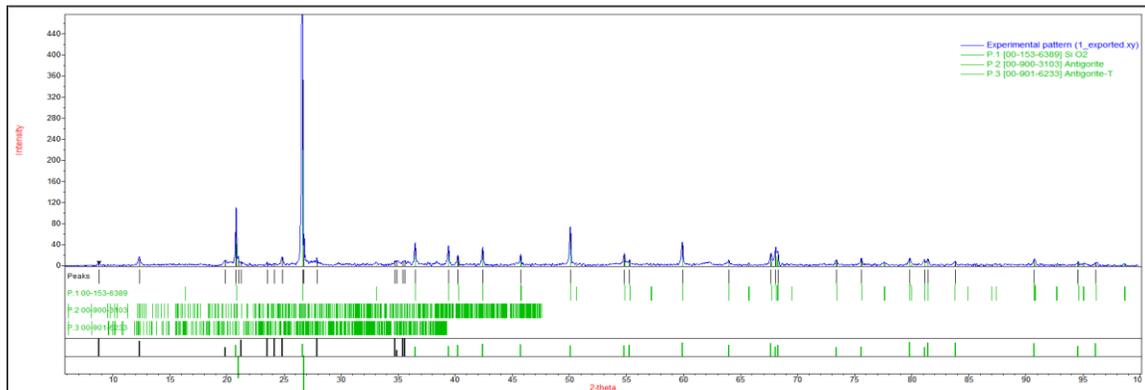
**Tabla 1-4:** Caracterización física y análisis textural

| Locación | Textura (análisis textural) | Consistencia         | Sensación al tacto | Color (Munsell)          |
|----------|-----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|
| Cacha    | Franco                      | Extremadamente firme | Plástica           | Rojo amarillento 5YR5/8  |
| Licán    | Arenosa                     | Frágil               | Árida              | Amarillo pardo 10YR6/6   |
| Chambo   | Franco-Arcillosa            | Suelta               | Untuosa            | Gris oliva oscuro 5YR3/2 |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

##### 4.1.2. Caracterización química

###### *Difracción de Rayos X*



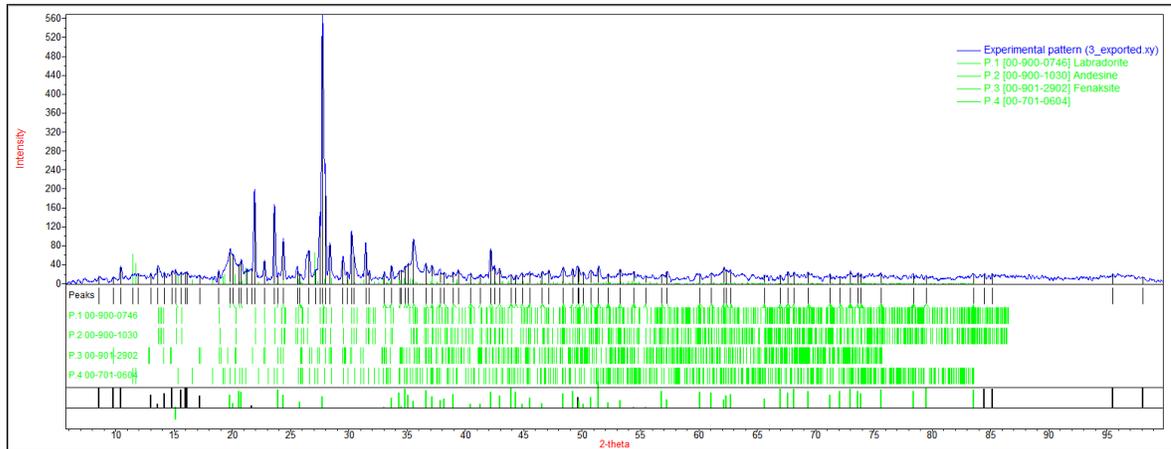
**Gráfica 1-4:** Difractograma Arcilla de Cacha

**Tabla 2-4:** Fases Minerales de la muestra CACHPR

| Mineral      | Proporción |
|--------------|------------|
| Sílice       | 68%        |
| Antigorita-T | 22,2%      |
| Antigorita   | 9,7%       |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

## Licán



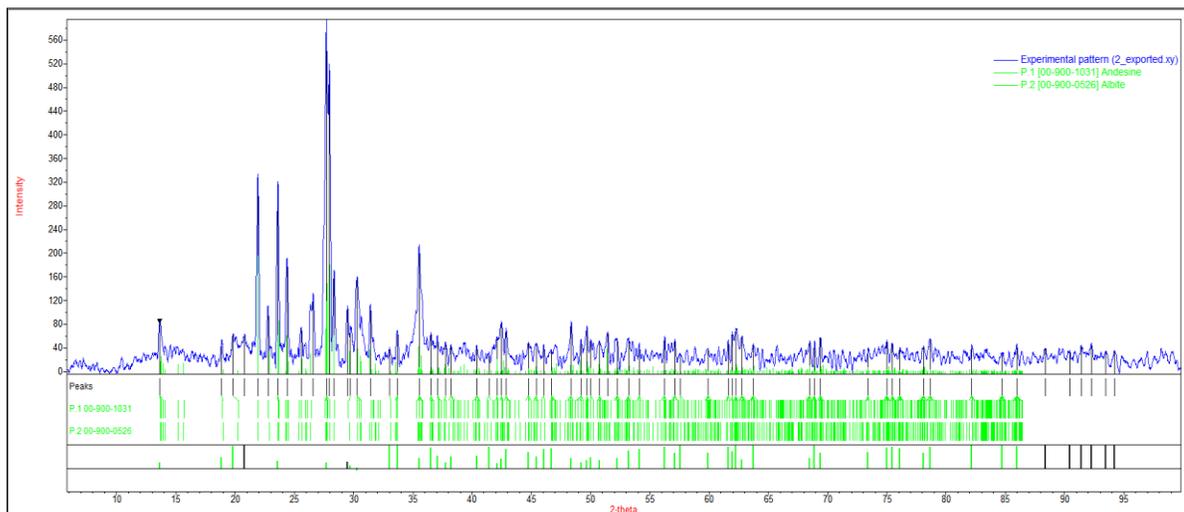
**Gráfica 2-4:** Difractograma Arcilla de Licán

**Tabla 3-4:** Fases Minerales de la muestra LICHPR

| Mineral           | Proporción |
|-------------------|------------|
| Labradorita       | 75,2%      |
| Andesina          | 16,5%      |
| Compuesto Teórico | 8,3%       |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

## Chambo



**Gráfica 3-4:** Difractograma Arcilla de Chambo

**Tabla 4-4:** Fases Minerales de la muestra CHCHPR

| Mineral  | Proporción |
|----------|------------|
| Andesina | 67,8%      |
| Albita   | 32,2%      |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

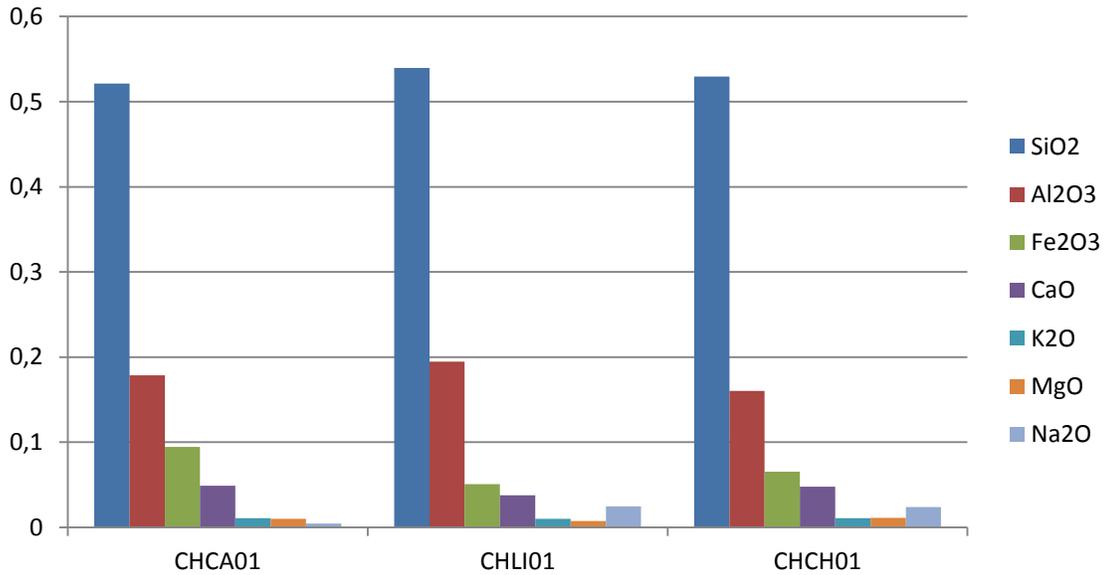
**Tabla 5-4:** Composición en óxidos Arcillas de Chimborazo

| Muestra<br>%<br>Óxidos         | CHCA01 - Cacha | CHLI01 - Licán | CHCH01 - Chambo |
|--------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 52,14          | 53,96          | 52,96           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 17,88          | 19,49          | 16,04           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,44           | 5,10           | 6,55            |
| CaO                            | 4,90           | 3,76           | 4,80            |
| K <sub>2</sub> O               | 1,07           | 1,00           | 1,08            |
| MgO                            | 1,01           | 0,74           | 1,13            |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,94           | 1,09           | 0,86            |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,45           | 2,47           | 2,38            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,12           | 0,11           | 0,20            |
| MnO                            | 0,10           | -----          | 0,09            |
| SO <sub>3</sub>                | 0,07           | 0,12           | 0,07            |
| SrO                            | 0,02           | 0,08           | 0,07            |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,02           | 68 ppm         | 0,02            |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0,02           | 0,03           | 0,02            |
| CuO                            | 0,02           | 93 ppm         | 0,01            |
| ZnO                            | 0,01           | 0,01           | -----           |
| NiO                            | 87 ppm         | -----          | -----           |
| Rb <sub>2</sub> O              | 48 ppm         | -----          | -----           |
| BaO                            | -----          | 0,07           | 0,11            |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -----          | 0,03           | 0,05            |
| Cl                             | -----          | 0,02           | 0,03            |

Fuente: Jara, 2018, p.58

El componente que se presenta en mayor porcentaje es el óxido de silicio con valores que van desde el 53,96% hasta el 52,14%; el siguiente componente que mayormente se presenta es el óxido de aluminio con porcentajes de presencia que van desde el 19,49% hasta el 16,04%; seguidamente tenemos el óxido de hierro con valores que varían desde el 9,44% hasta el 5,10%, después tenemos la presencia del óxido de calcio cuyos porcentajes oscilan entre el 4,90% hasta el 3,76%; seguido del óxido de sodio cuyos porcentajes oscilan entre 0,45 hasta 2,47%; el siguiente óxido presente en las arcillas es el óxido de potasio con valores que van desde el 1,08% hasta el 1% y finalmente tenemos el óxido de magnesio cuyos porcentajes van desde el 1,13% hasta el 0,74%.

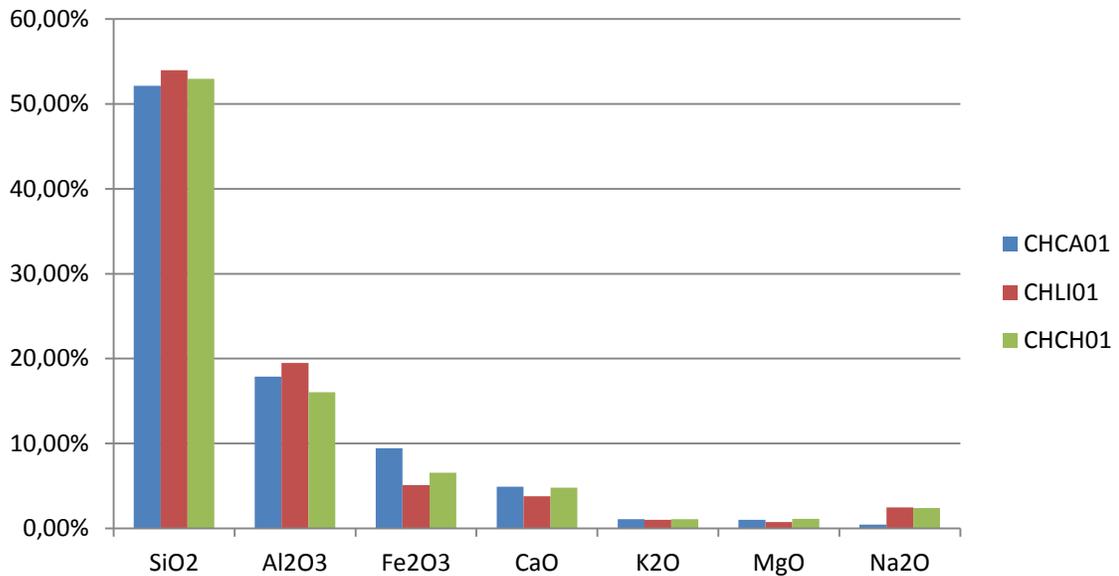
## Composición Química, Por Localización



**Gráfica 4-4:** Comparación de Resultados Por Localización

Fuente: Jara, 2018, p.60

## Composición Química, Por Componentes



**Gráfica 5-4:** Comparación de Resultados por Componentes

Fuente: Jara, 2018, p.60

#### 4.1.3. Caracterización físico-química efluente textil

**Tabla 6-4:** Caracterización Físico Química Efluente

| Parámetro                     | Método                      | Unidad | Resultado |
|-------------------------------|-----------------------------|--------|-----------|
| pH                            | 4500-B                      | -      | 8,40      |
| Sólidos Suspendidos Totales   | Standard Methods No. 2540 D | mg/L   | <50       |
| Sólidos Totales               | Standard Methods No. 2540 B | mg/L   | 1312      |
| Demanda Química de Oxígeno    | Standard Methods No. 5220 D | mg/L   | 261       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | Standard Methods No. 5210 B | mg/L   | 110       |
| Color Real (promedio)         | Hach125                     | mg/l   | 1066,5    |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

#### 4.1.4. Tratamientos del efluente con arcillas

Límite permisible de color real: Inapreciable a dilución 1/20

##### 4.1.4.1. Tratamiento de efluente con arcilla de Cacha

**Tabla 7-4:** Ensayos remoción de color arcillas de Cacha

| Modificación             | Cumplimiento de la Norma, antes del tratamiento | PCU <sub>i</sub> | PCU <sub>r</sub> | %Remoción | Cumplimiento de la Norma después del tratamiento |
|--------------------------|---|------------------|------------------|-----------|--|
| Ácida                    | No  | 1065,0           | 939,5            | 11,8%     | Si   |
| Térmica                  | No  | 1066,5           | 856,5            | 19,7%     | Si   |
| Básica                   | No  | 1069,0           | 876,0            | 18,1%     | Si   |
| Natural ( no modificada) | No  | 1067,5           | 960,5            | 10,0%     | Si   |

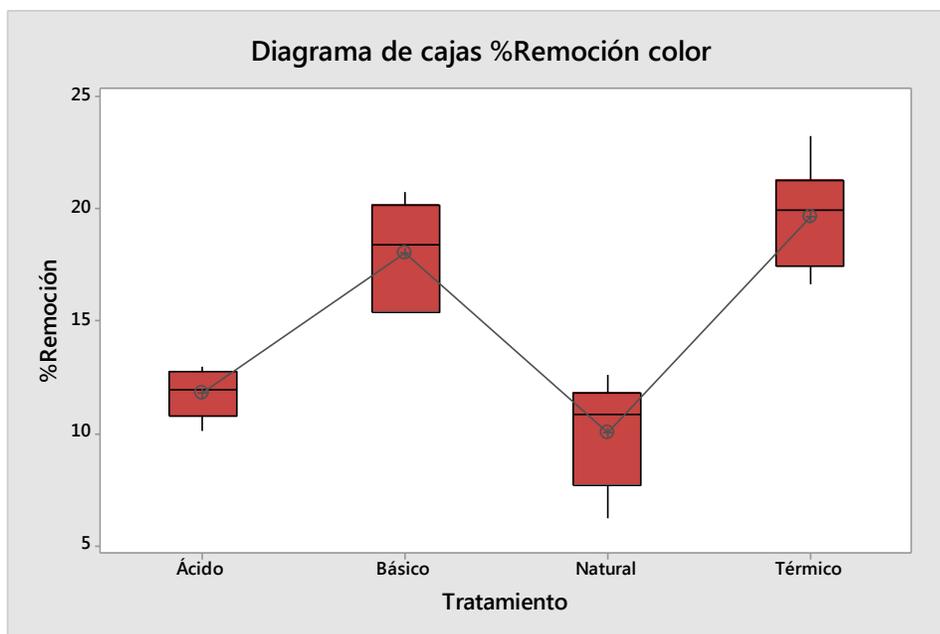
Realizado por: Andrés Lara, 2018

*Resultados generales del porcentaje de remoción de las arcillas de Cacha*

**Tabla 8-4:** Resultados ANOVA Cacha

| Modificación | N | Medias | Desviación Estándar | 95%, CI          |
|--------------|---|--------|---------------------|------------------|
| Ácida        | 6 | 11,8   | 1,060               | (10,010. 13,558) |
| Térmica      | 6 | 19,7   | 2,341               | (17,913. 21,461) |
| Básica       | 6 | 18,1   | 2,265               | (16,283. 19,830) |
| Natural      | 6 | 10,0   | 2,369               | ( 8,244. 11,792) |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018



**Gráfica 6-4:** Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Color Arcilla de Cacha  
Realizado Por: Andrés Lara, 2018

La arcilla de Cacha con tratamiento térmico presenta un porcentaje de remoción superior a las demás arcillas debido a que el nivel de la caja está por encima de los demás.

#### 4.1.4.2. Tratamiento de efluente con arcilla de Licán

**Tabla 9-4:** Ensayos remoción de color arcillas de Licán

| Modificación           | Cumplimiento de la Norma, antes del tratamiento | PCU <sub>i</sub> | PCU <sub>r</sub> | %Remoción | Cumplimiento de la Norma, después del tratamiento |
|------------------------|---|------------------|------------------|-----------|---|
| Ácida                  | No  | 1065,0           | 762,0            | 28,5%     | Si  |
| Térmica                | No  | 1069,0           | 790,0            | 26,1%     | Si  |
| Básica                 | No  | 1069,0           | 781,0            | 26,9%     | Si  |
| Natural(no modificada) | No  | 1063,0           | 934,5            | 12,1%     | Si  |

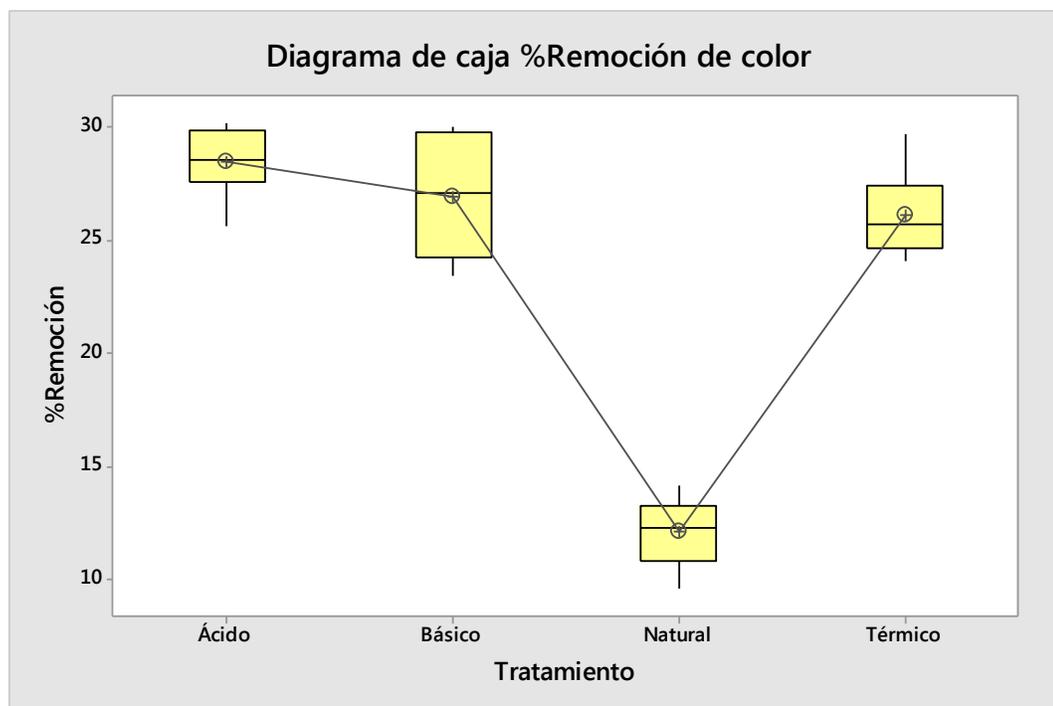
Realizado por: Andrés Lara, 2018

#### Resultados generales del porcentaje de remoción de las arcillas de Licán

**Tabla 10-4:** Resultados ANOVA Licán

| Modificación | N | Medias | Desviación Estándar | 95%, CI          |
|--------------|---|--------|---------------------|------------------|
| Ácida        | 6 | 28,5   | 1,597               | (26,747. 30,153) |
| Térmica      | 6 | 26,1   | 1,974               | (24,395. 27,800) |
| Básica       | 6 | 26,9   | 2,67                | ( 25,23. 28,64)  |
| Natural      | 6 | 12,1   | 1,548               | (10,387. 13,792) |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018



**Gráfica 7-4:** Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Color Arcilla de Licán  
Realizado Por: Andrés Lara, 2018

El nivel de la caja de la arcilla de Licán modificada con ácido está por encima de las otras muestras lo cual nos indica que posee un mejor porcentaje de remoción de color.

#### 4.1.4.3. Tratamiento de efluente con arcilla de Chambo

**Tabla 11-4:** Ensayos remoción de color arcillas de Chambo

| Modificación            | Cumplimiento de la Norma, antes del tratamiento | PCU <sub>i</sub> | PCU <sub>r</sub> | %Remoción | Cumplimiento de la Norma, después del tratamiento |
|-------------------------|---|------------------|------------------|-----------|---|
| Ácida                   | No  | 1066,0           | 841,0            | 21,1%     | Si  |
| Térmica                 | No  | 1063,5           | 839,5            | 21,1%     | Si  |
| Básica                  | No  | 1067,5           | 764,0            | 28,4%     | Si  |
| Natural (no modificada) | No  | 1067,0           | 892,0            | 16,4%     | Si  |

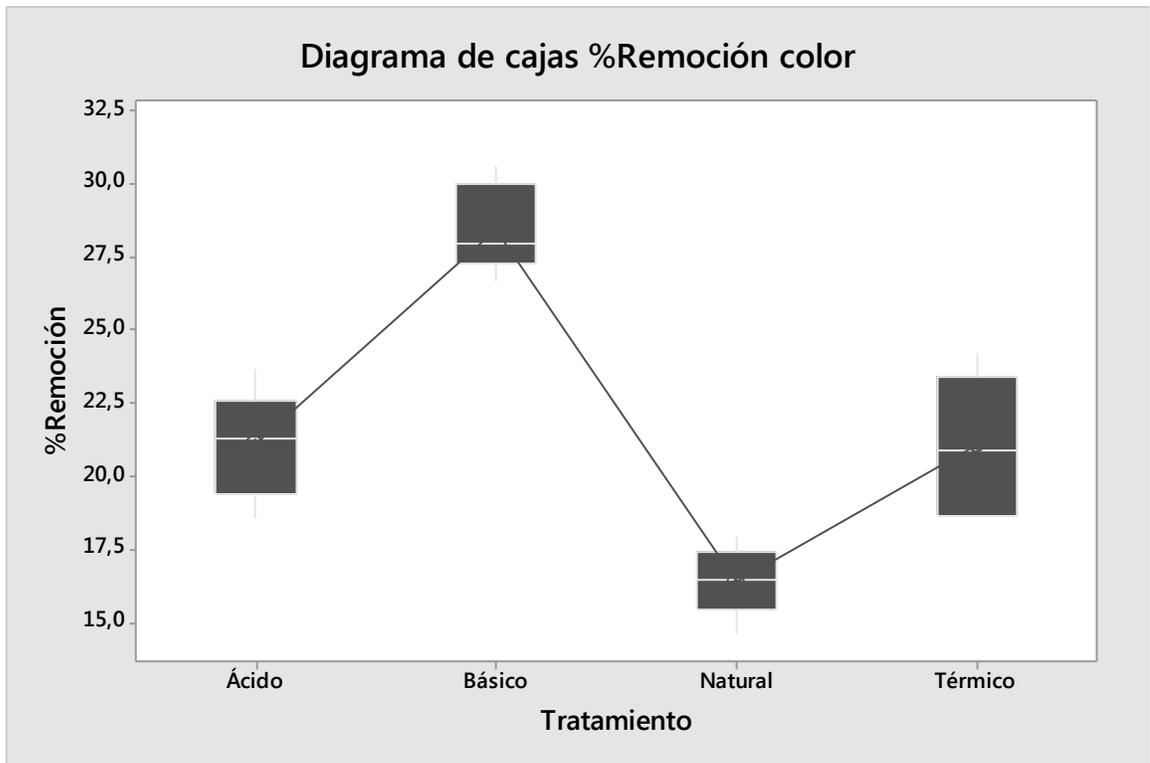
Realizado por: Andrés Lara, 2018

#### Resultados generales del porcentaje de remoción de las arcillas de Chambo

**Tabla 12-4: Resultados ANOVA Chambo**

| Tratamiento | N | Medias | Desviación Estándar | 95%, CI          |
|-------------|---|--------|---------------------|------------------|
| Ácida       | 6 | 21,1   | 1,817               | (19,620. 22,596) |
| Térmica     | 6 | 21,1   | 2,300               | (19,574. 22,550) |
| Básica      | 6 | 28,4   | 1,502               | (26,944. 29,920) |
| Natural     | 6 | 16,4   | 1,168               | (14,914. 17,890) |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018



**Gráfica 8-4:** Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Color Arcilla de Chambo  
**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

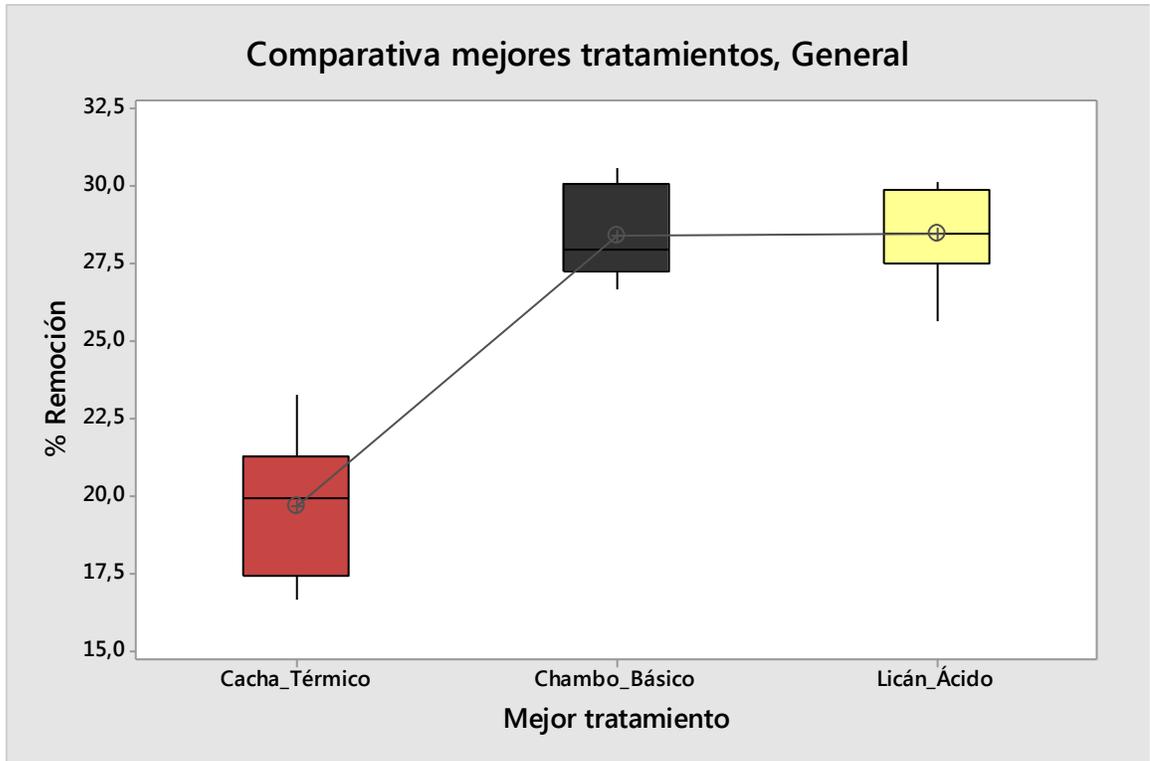
La arcilla de Chambo modificada con base muestra un nivel de caja significativamente superior, lo cual indica que posee un mejor porcentaje de remoción de color enfrente a las demás arcillas.

#### 4.1.4.4. Resultados de arcilla con mejor porcentaje de remoción

**Tabla 13-4: Resultados ANOVA Total**

| Localización | Mejor Tratamiento | N | Medias | Desviación Estándar | 95%, CI          |
|--------------|-------------------|---|--------|---------------------|------------------|
| Cacha        | Térmica           | 6 | 19,7   | 2,341               | (18,076; 21,298) |
| Chambo       | Básica            | 6 | 28,4   | 1,597               | (26,839; 30,061) |
| Licán        | Básica            | 6 | 28,5   | 1,502               | (26,820; 30,043) |

**Realizado por:** Andrés Lara, 2018

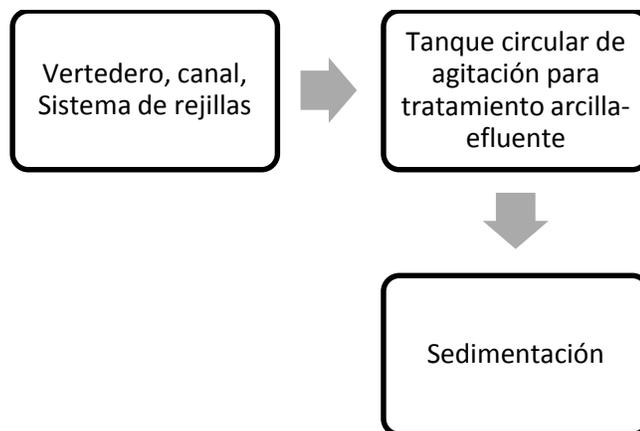


**Gráfica 9-4:** Diagrama de Cajas Porcentaje de Remoción Mejores Arcillas  
**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

Se observa que, la arcilla de Cacha modificada térmicamente presenta un porcentaje de remoción estadísticamente inferior a las arcillas de Chambo, modificada con base, y de Licán, modificada con ácido, siendo esta última la considerada para ser utilizada en el tratamiento del efluente.

#### 4.1.5. Prototipo sistema de tratamiento

#### DIAGRAMA PROPUESTO DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL EFLUENTE TEXTIL



En este prototipo de sistema de tratamiento se incluye al uso de la arcilla de Licán ácido en el tratamiento de efluentes bajo la modalidad de adsorbente sólido, para remover el color usando un tanque circular de agitación para dicho proceso.

En la industria de lavandería de jeans “Jordan Jeans” se determinó en intervalos de tiempo de 5 minutos el volumen de ingreso en una botella plástica de dos litros en un tiempo de aforamiento promedio de 7,02 s, los datos se pueden encontrar en la siguiente tabla:

**Tabla 14-4:** Muestreo efluente textil

| Hora            | Muestra | Volumen | Tiempo de llenado |
|-----------------|---------|---------|-------------------|
| 18h00           | 1       | 2L      | 7,30s             |
| 18h05           | 2       | 2L      | 6,75s             |
| 18h10           | 3       | 2L      | 7,15s             |
| 18h15           | 4       | 2L      | 6,45s             |
| 18h20           | 5       | 2L      | 6,84s             |
| 18h25           | 6       | 2L      | 7,62s             |
| <b>Promedio</b> |         | 2L      | 7,02 s            |

Realizado por: Andrés Lara, 2018

#### *Cálculo del Caudal Real*

- **Caudal Medido Real**

$$Q = \frac{V_{ef}}{t}$$

Dónde:

$V_{ef}$  = volumen del efluente = 2 L

t = tiempo de llenado o aforamiento = 7,02 s

$$Q = \frac{2L}{7,02 s} = 0,28 \frac{L}{s} = 1,01 \frac{m^3}{h}$$

- **Caudal de Diseño**

El factor de mayorización tendrá un valor del 20% (Ramos, 2017, p.44)

$$QD = Q + (Q * FM)$$

Dónde:

$Q = \text{caudal medido} = 1,01 \text{ m}^3/\text{h}$

FM = factor de mayorización = 20

$$QD = 1,01 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} + 1,01 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} (0,20) = 1,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,00034 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,34 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

*Vertedero*

Nuestro caudal (0,34 L/s) al tener un valor por debajo de los 20 L/s se opta por el diseño de un vertedero rectangular en base a la siguiente tabla:

**Tabla 15-4:** Criterios para la selección del tipo de vertedero

| Tipo de Vertedero | Caudal      |
|-------------------|-------------|
| Circular          | 50-120 L/s  |
| Triangular        | 20-50 L/s   |
| Trapezoidal       | >120 L/s    |
| Rectangular       | <20-120 L/s |

Fuente: DINAMA, 2004, p.8

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

El valor de K será el valor presente en el caudal de 14 a 84 L/s ya que nuestro caudal está por debajo de esos valores.

Como el valor de nuestro caudal está entre 14 a 84 L/s de los establecidos en la tabla anterior se tomará el valor de K de la primera fila considerándolo como un valor mínimo.

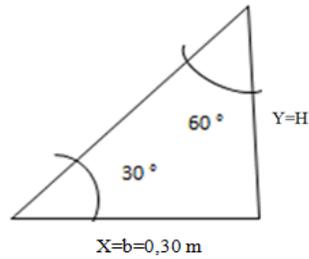
**Tabla 16-4:** Dimensiones de las cajas para vertederos rectangulares

| Caudal(L/s) | h(m)<br>Altura máxima | b(m)<br>Ancho de la cresta del vertedero | F(m)<br>Longitud del cajón de aguas | K(m)<br>Longitud del cajón abajo del vertedero | B(m)<br>Anchura total del cajón | E(m)<br>Profundidad total del cajón | C(m)<br>Extremo de la cresta | p(m)<br>Distancia de la cresta al fondo |
|-------------|-----------------------|--|-------------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|
| 14-84       | 0,30                  | 0,30                                     | 1,83                                | 0,61   | 1,88                            | 1,07                                | 0,69                         | 0,61                                    |
| 56-140      | 0,34                  | 0,46                                     | 2,13                                | 0,91   | 2,13                            | 1,22                                | 0,84                         | 0,76                                    |
| 112-224     | 0,36                  | 0,61                                     | 2,44                                | 1,22   | 2,59                            | 1,37                                | 0,99                         | 0,84                                    |
| 168-392     | 0,40                  | 0,91                                     | 2,74                                | 1,52   | 3,66                            | 1,52                                | 1,37                         | 0,99                                    |
| 280-616     | 0,46                  | 1,22                                     | 3,05                                | 1,83   | 4,27                            | 1,68                                | 1,52                         | 1,07                                    |

Fuente: Orson y Hansen, 2003, p.118

- **Dimensionamiento de la cresta vertedora**

**Alto de la cresta vertedora**



El ancho X ó b de la cresta corresponde al valor encontrado en la tabla 39-4

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{X}{Y}$$

Dónde:

Y = alto de la cresta vertedora = ?

b = ancho cresta vertedora = 0,30 m

$$Y = \frac{X}{\operatorname{tg}(60^\circ)}$$

$$Y = \frac{0,30 \text{ m}}{\operatorname{tg}(60^\circ)} = 0,17 \text{ m}$$

La construcción de dichos vertederos se trabajará con un factor de seguridad del 20%

- **Cálculo del ancho mínimo interno (B)**

$$B = 1,2 \times b$$

Dónde

B = ancho mínimo interno vertedero (m) = ?

FM = factor de mayorización = 20 %

b = base del canal = 0,30 m tomado de la tabla 39-4

$$B = 1,2 \times 0,30 \text{ m}$$

$$B = 0,36 \text{ m}$$

- **Cálculo del largo mínimo interno (F)**

$$F = 5 \times B$$

Dónde:

B = ancho mínimo interno vertedero 0,36 m

$$F = 5(0,36)$$

$$F = 1,8 \text{ m}$$

- **Cálculo del alto mínimo interno del vertedero**

$$H_v = 1,2 \times H$$

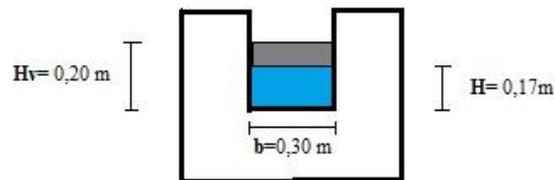
Dónde:

$H_v$  = alto mínimo interno del vertedero = ?

H = alto cresta del vertedero = 0,17 m

$$H_v = 1,2 \times 0,17 \text{ m}$$

$$H_v = 0,20 \text{ m}$$



**Figura 9-4:** Vertedero Rectangular  
Realizado Por: Andrés Lara, 2018

**Tabla 17-4:** Resultados Tanque de Almacenamiento y Vertedero

| <b>Vertedero</b>         | <b>Resultado</b> | <b>Unidad</b> |
|--------------------------|------------------|---------------|
| Ancho Cresta Vertedora   | 0,30             | m             |
| Alto Cresta Vertedera(m) | 0,17             | m             |
| Ancho mínimo Interno(m)  | 0,36             | m             |
| Largo mínimo interno(m)  | 1,8              | m             |
| Alto mínimo interno(m)   | 0,20             | m             |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

*Canal*

- **Área del canal**

$$Ac = b \times H$$

Dónde:

$$Ac = \text{área del canal (m}^2\text{)} = ?$$

$$b = \text{base del canal} = 0,30 \text{ m}$$

$$H = \text{altura de la cresta del vertedero} = 0,17 \text{ m}$$

$$Ac = 0,30 \times 0,17$$

$$Ac = 0,1 \text{ m}^2$$

- **Cálculo del radio hidráulico**

$$R = \frac{b \times H}{(b+2) \times H}$$

Dónde:

$$R = \text{radio hidráulico (m)} = ?$$

$$b = \text{base del canal} = 0,30 \text{ m}$$

$$H = \text{altura de la cresta del vertedero} = 0,17 \text{ m}$$

$$R = \frac{0,30 \times 0,17}{(0,30 + 2) \times 0,17}$$

$$R = 0,13 \text{ m}$$

**Tabla 18-4:** Coeficiente de rugosidad de Manning

| <b>Canales Revestidos</b>                        | <b>n</b>    |
|--|-------------|
| Encachado (piedra u hormigón)                    | 0,020-0,030 |
| Hormigón   | 0,013-0,017 |
| Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas      | 0.016-0,022 |
| Paredes de hormigón fondo de grava               | 0.017-0,020 |
| Revestimiento bituminoso                         | 0.013-0,016 |
| <b>Canales sin revestir</b>                      | <b>n</b>    |
| Tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa     | 0,020-0,025 |
| En roca superficie con aristas e irregularidades | 0,035-0,045 |
| Hormigón sin revestimiento                       | 0,040-0,050 |

**Fuente:** Posey y Woodward, 1941, p.5

Conocido el valor del coeficiente de rugosidad de Manning el cual es de 0,050 para canales de hormigón sin revestimiento.

## Cálculo de la Velocidad de Recorrido del agua en el canal

**Tabla 19-4:** Capacidad de conducción canales revestidos

| Gradiente Hidráulico |       |       |
|----------------------|-------|-------|
| 0,05%                | 0,10% | 0,15% |

Fuente: García y Martínez, 2003, p.78

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

V = velocidad de recorrido del agua en el canal (m/s) = ?

n = coeficiente de manning = 0,050 tomado de la tabla 41-4

R = radio hidráulico = 0,13 m

S = gradiente hidráulico = 0,05% (0,0005) tomado de la tabla 42-4

$$V = \frac{1}{0,050} \times (0,13)^{\frac{2}{3}} \times (0,0005)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0,11 \text{ m/s}$$

- **Área de la sección transversal del canal**

$$A_{stc} = \frac{QD}{V}$$

Dónde:

A<sub>stc</sub> = área sección transversal del canal (m<sup>2</sup>) = ?

QD = caudal punta = 0,00034 m<sup>3</sup>/s

V = velocidad de recorrido del agua en el canal = 0,11 m/s

$$A_{stc} = \frac{0,00034 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,0031 \text{ m}^2$$

- **Altura máxima del agua en el canal**

Nuestro canal será del tipo abierto por lo que la altura se representará como  $h=2b$  y la base como  $2h$ .

$$A_{stc} = b \times h$$

Dónde:

$h$  = altura máxima del agua en el canal ( $m$ ) = ?

$A_{stc}$  = área del canal =  $0,0031 \text{ m}^2$

$$A_{stc} = 2h \times h$$

$$A_{stc} = 2h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{A_{stc}}{2}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0,0031}{2}} = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$$

**Tabla 20-4:** Condiciones para el borde libre del canal

| Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )   | Borde Libre (m) |
|------------------------------|-----------------|
| Menor a $0,50 \frac{m^3}{s}$ | 0,30            |
| Mayor a $0,50 \frac{m^3}{s}$ | 0,40            |

Fuente: METALCAF & EDDY, 2011, p. 32

- **Altura total del canal**

$$H_t = h + h_s$$

Dónde

$H_t$  = altura total del canal = ?

$h$  = altura máxima del agua en el canal =  $0,04 \text{ m}$

$h_s$  = factor de seguridad =  $0,30 \text{ m}$  tomado de la tabla 43-4

$$H_t = 0,04 \text{ m} + 0,30 \text{ m} = 0,34 \text{ m}$$

**Tabla 21-4:** Condiciones para el diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

| Características                     | Unidades | Limpieza Manual | Limpieza Mecánica |
|-------------------------------------|----------|-----------------|-------------------|
| Tamaño de barra:                    |          |                 |                   |
| Ancho espesor máximo                | mm       | 5-15            | 5-15              |
| Profundidad                         | mm       | 25-37,5         | 25-37,5           |
| Diámetro                            | Pulgadas | 1/2             | 1/2               |
| Separación entre barras             | mm       | 25-50           | 15-75             |
| Pendiente en relación a la vertical | Grados   | 60-45           | 0-60              |
| Velocidad de aproximación           | m/s      | 0,30-0,60       | 0,6-1,1           |
| Perdida de carga admisible          | mm       | 150             | 150               |

Fuente: METALCAF & EDDY,2011, p. 15

*Sistema de rejillas (barras)*

- **Longitud de Barras**

$$LB = \frac{Ht}{\text{sen } \emptyset}$$

Dónde:

LB = longitud de las barras (m)= ?

Ht = altura total del canal = 0,34 m

$\text{sen } \emptyset$  = ángulo de inclinación de las barras = 60° valor tomado de la tabla 44-4

$$LB = \frac{0,34 \text{ m}}{\text{sen } 60^\circ}$$

$$LB = 0,39 \text{ m}$$

- **Cálculo del Número de Barras**

$$Nb = \frac{b-e}{e+t}$$

Dónde:

Nb = número de barras = ?

b = base del canal = 0,30 m

e = separación entre barras = 0,025 m valor tomado de la tabla 44-4

t = espesor máximo de las barras = 0,0127 m valor tomado de la tabla 44-4

$$Nb = \frac{0,30 - 0,025}{0,025 + 0,0127}$$

$$Nb = 7,29 = 7 \text{ barras}$$

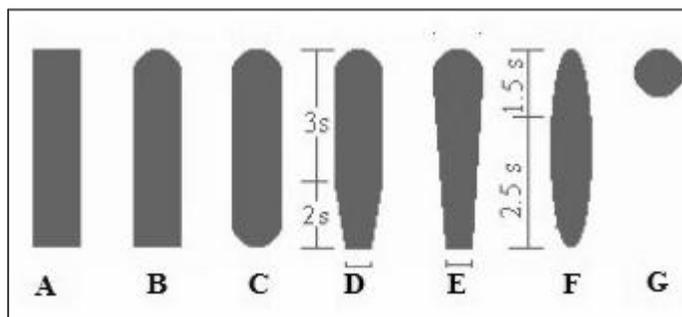
La rejilla deberá tener 7 barras

- **Pérdida de carga de las rejillas**

**Tabla 22-4:** Coeficiente de pérdida para rejillas

| Forma   | A    | B    | C    | D     | E    | F    | G    |
|---------|------|------|------|-------|------|------|------|
| $\beta$ | 2.48 | 1.83 | 1.67 | 1.035 | 0.92 | 0.76 | 1.79 |

Fuente: RAS, 2000, p.15



**Figura 2-4:** Forma de rejillas  
Realizado Por: Andrés Lara, 2018

Se optará por trabajar con la forma de rejillas correspondiente a la letra G.

$$hc = \beta x \left(\frac{t}{e}\right)^{\frac{4}{3}} x \left(\frac{V^2}{2g}\right) x \text{sen}\varnothing$$

Dónde:

Hc = pérdida de carga de las rejillas (m) = ?

t = espesor máximo de las barras = 0,0127 m valor tomado de la tabla 44-4

V = velocidad de recorrido del flujo = 0,19 m/s

e = separación entre barras = 0,025 m valor tomado de la tabla 44-4

$\beta$  = factor dependiente de la forma de la barra (circular) = 1,79 valor tomado de la tabla 45-4

g = gravedad = 9,8 m/s<sup>2</sup>

sen $\theta$  = ángulo de inclinación de las barras = 60° valor tomado de la tabla 44-4

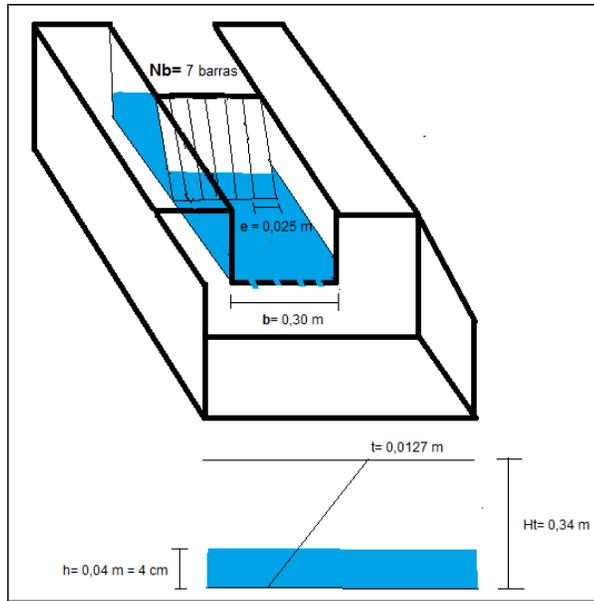
$$hc = 1,79 \times \left( \frac{0,0127}{0,025} \right)^{\frac{4}{3}} \times \left( \frac{0,11^2}{2g} \right) \times \text{sen}(60)$$

$$hc = 0,0004 \text{ m}$$

**Tabla 23-4:** Resultados Canal y Sistema de Rejillas

| <b>Canal</b>                       | <b>Resultado</b> | <b>Unidad</b>  |
|------------------------------------|------------------|----------------|
| Área del Canal                     | 0,1              | m <sup>2</sup> |
| Altura máxima del agua en el canal | 0,04             | m              |
| Altura total del canal             | 0,34             | m              |
| Base del canal                     | 0,30             | m              |
| <b>Sistema de Rejillas</b>         |                  |                |
| Número de barras                   | 7                |                |
| Longitud de barras                 | 0,39             | m              |
| Separación entre barras            | 0,025            | m              |
| Espesor máximo de barras           | 0,0127           | m              |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018



**Figura 3-4:** Sistema de rejillas  
**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

Tanque circular para el proceso de adsorción arcilla colorante

- **Área superficial tanque circular**

**Tabla 24-4:** Valores de carga de superficie

| Suspensión          | Carga de superficie ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ ) |              |
|---------------------|---|--------------|
|                     | Intervalo   | Caudal punta |
| Flóculo de alúmina  | 25-50   | 50           |
| Flóculo de hierro   | 25-50   | 50           |
| Flóculo de cal      | 30-60   | 60           |
| Agua residual cruda | 25-50   | 50           |

Fuente: METALCAF & EDDY, 2011, p.10

Dónde

$A_{tc}$  = área superficial del tanque circular ( $\text{m}^2$ ) = ?

$C_s$  = carga superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ ) =  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d} = 0,000578 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$  valor tomado de la tabla 45-4

$Q_D$  = caudal de diseño =  $0,00034 \text{ m}^3/\text{s}$

$$A_{tc} = \frac{QD}{C_s}$$

$$A_{tc} = \frac{0,00034 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,000578 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}}$$

$$A_{tc} = 0,59 \text{ m}^2$$

- **Radio del tanque circular**

$$r_{tc} = \sqrt{\frac{A_{tc}}{\pi}}$$

Dónde:

$r_{tc}$  = radio del tanque circular (m) = ?

$A_{tc}$  = área superficial del tanque circular = 0,59 m<sup>2</sup>

$$r_{tc} = \sqrt{\frac{0,59 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r_{tc} = 0,43 \text{ m}$$

- **Diámetro del tanque circular**

$$D_{tc} = 2 \times r_{tc}$$

Dónde

$D_{tc}$  = diámetro del tanque circular (m) = ?

$r_{tc}$  = radio del tanque circular (m) = 0,43

$$D_{tc} = 2 \times 0,43 \text{ m}$$

$$D_{tc} = 0,86 \text{ m}$$

**Tabla 25-4:** Información usual para diseño de tanques circulares

| Parámetro                   | Unidad | Intervalo | Valor usual |
|-----------------------------|--------|-----------|-------------|
| Profundidad                 | m      | 3-4       | 3,6         |
| Longitud                    | m      | 3-60      | 12-45       |
| Pendiente de la solera      | mm/m   | 6,25-16   | 8           |
| Velocidad de los rascadores | r/min  | 0,02-0,05 | 0,03        |

Fuente: METALCAF & EDDY, 2011, p. 56

- **Cálculo volumen tanque circular**

$$V_{tc} = A_{tc} \times h$$

Dónde:

$V_{tc}$  = volumen tanque circular  $m^3 = ?$

$A_{tc}$  = área superficial del tanque circular =  $0,59 m^2$

$h$  = altura del tanque valor tomado de la tabla 48-4

$$V_{tc} = 0,59 m^2 \times 3,6 m$$

$$V_{tc} = 2,12 m^3 = 2120 L$$

- **Tiempo de retención hidráulica**

$$Tr_h = \frac{V_{tc}}{QD}$$

Dónde:

$Tr_h$  = tiempo de retención hidráulica (h) = ?

$QD$  = caudal de diseño ( $m^3/s$ ) =  $0,00034 m^3/s$

$V_{tc}$  = volumen tanque circular ( $m^3$ ) =  $2,12 m^3$

$$Tr_h = \frac{2,12 m^3}{0,00034 \frac{m^3}{s}}$$

$$Tr_h = 6235,29 s = 1,73 h = 1h 44 min$$

- **Cálculo Potencia del Motor**

$$PM = G^2 \cdot \mu \cdot V_T$$

Dónde:

PM = potencia (W) = ?

G = gradiente medio de velocidad = 79,05 s<sup>-1</sup>

$\mu$  = viscosidad dinámica de 8,91 x 10<sup>-4</sup> Ns/m<sup>2</sup>

V<sub>T</sub> = volumen tanque circular = 2,12 m<sup>3</sup>

$$G = 0,25 n^{1,25}$$

Dónde:

G = gradiente medio de velocidad (s<sup>-1</sup>) = ?

n = velocidad de rotación = 100 rpm

Considerando condiciones normales del agua se trabajara con una viscosidad de 8,91 x 10<sup>-4</sup>  $\frac{kg}{m.s}$ , la velocidad de rotación considerada será de 100 rpm debido a que está es al velocidad que recomienda la bibliografía para la agitación del efluente con la arcilla. (Saif Ur Rehman et al., 2013: pp. 55-56)

$$G = 0,25 (100)^{1,25}$$

$$G = 79,05 \text{ s}^{-1}$$

$$PM = (79,05 \text{ s}^{-1})^2 (8,91 \times 10^{-4} \frac{N.s}{m^2}) (2,12 \text{ m}^3)$$

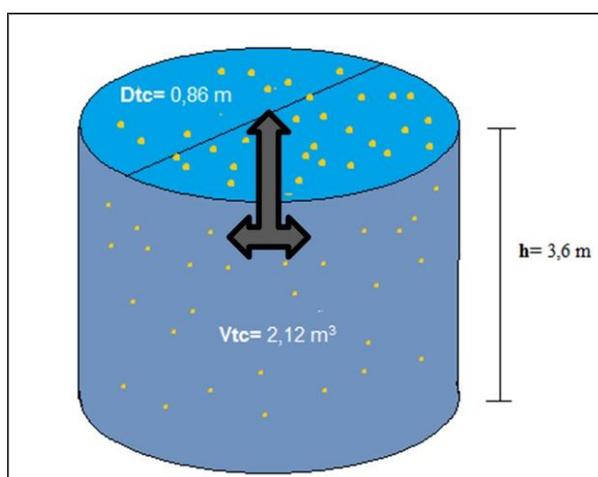
$$PM = 11,80 \frac{N.s}{m} = 11,80 \text{ watts} = 0,2 \text{ Hp}$$

Al no existir en el mercado bombas con potencia de 0,2 Hp se optará por una bomba que posee 0,5 Hp de potencia.

El equipo circular de agitación para el uso de las arcillas en la remoción de color tendrá un volumen de 2120 L por lo tanto la cantidad de arcilla de Licán modificada con ácido a utilizar a nivel industrial para la remoción de color será de 2,12 kg; debido a que para las pruebas de tratabilidad se ocupó una relación de 0,1 g por cada 100 ml (0,1L).

El tiempo de retención hidráulico es próximo a las dos horas tiempo suficiente para que se dé el proceso de agitación de las arcillas en el efluente y para que este pase a la siguiente etapa, que es la sedimentación.

La potencia necesaria del motor para alcanzar una agitación próxima a los 100 rpm será de 0,5 Hp.



**Figura 4-4:** Tanque circular de agitación arcilla-efluente  
Realizado Por: Andrés Lara, 2018

**Tabla 26-4:** Resultados Tanque Circular

| Tanque Circular                  | Resultados        | Unidades       |
|----------------------------------|-------------------|----------------|
| Área superficial tanque circular | 0,59              | m <sup>2</sup> |
| Diámetro del tanque circular     | 0,86              | m              |
| Volumen del tanque circular      | 2,12              | m <sup>3</sup> |
| Tiempo de retención hidráulico   | 1,73 (1 h 44 min) | h              |
| Potencia del motor               | 0,5               | Hp             |

Realizado Por: Andrés Lara, 2018

## *Sedimentador*

- **Cálculo área del sedimentador**

$$C_s = \frac{QD}{A_{se}}$$

Dónde:

$A_{se}$  = área superficial del sedimentador ( $m^2$ ) = ?

$C_s$  = carga superficial =  $50 m^3/m^2d = 0,000578 m^3/m^2s$  valor tomado de la tabla 45-4

$QD$  = caudal de diseño =  $0,00034 m^3/s$

Despejar área superficial:

$$A_{se} = \frac{Q}{C_s}$$
$$A_{se} = \frac{0,00034 \frac{m^3}{s}}{0,000578 \frac{m^3}{m^2s}}$$
$$A_{se} = 0,59 m^2$$

- **Radio del sedimentador**

$$r_{se} = \sqrt{\frac{A_{se}}{\pi}}$$

Dónde:

$r_{se}$  = radio del sedimentador (m) = ?

$A_{se}$  = área superficial =  $0,59 m^2$

$$r_{se} = \sqrt{\frac{0,59m^2}{\pi}}$$

$$r_{se} = 0,43m$$

- **Diámetro del sedimentador**

$$D_{se} = 2 \times r_{se}$$

Dónde:

$D_{se}$  = diámetro del sedimentador (m) = ?

$r_{se}$  = radio del sedimentador = 0,43 m

$$D_{se} = 2 \times 0,43\text{m}$$

$$D_{se} = 0,86 \text{ m}$$

**Tabla 27-4:** Datos para el diseño de sedimentadores circulares

| Parámetro                   | Unidad | Intervalo | Valor usual |
|-----------------------------|--------|-----------|-------------|
| Profundidad                 | m      | 3-4,5     | 3,6         |
| Longitud                    | m      | 3-60      | 12-45       |
| Pendiente de la solera      | mm/m   | 6,25-16   | 8           |
| Velocidad de los rascadores | r/min  | 0,02-0,05 | 0,03        |

Fuente: METALCAF & EDDY, 2011, pag. 5

- **Cálculo del volumen de la parte cilíndrica del sedimentador**

$$V_C = \pi \times r_{se}^2 \times h_{cse}$$

Dónde:

$V_C$  = Volumen de la parte cilíndrica del sedimentador ( $\text{m}^3$ ) = ?

$r_{se}$  = radio del tanque sedimentador = 0,43 m

$h_{cse}$  = altura de la parte cilíndrica del sedimentador = 3,6 m valor tomado de la tabla 50-4

$$V_C = \pi \times (0,43\text{m})^2 \times 3,6 \text{ m}$$

$$V_C = 2,09\text{m}^3$$

- **Cálculo Volumen parte cónica del sedimentador**

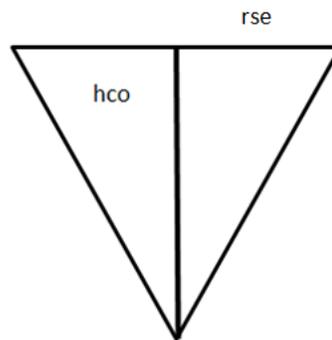
$$V_{co} = \frac{\pi \times r_{se}^2 \times h_{co}}{3}$$

Dónde:

$V_{co}$  = volumen de la parte cónica del sedimentador ( $m^3$ ) = ?

$r_{se}$  = radio del tanque sedimentador = 0,43 m

$h_{co}$  = altura de la parte cónica del sedimentador = 0,43 m



$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

$$\operatorname{tg} \sigma = \frac{h_{co}}{r_{se}}$$

$$h_{co} = \operatorname{tg} \sigma \times r_{se}$$

$$h_{co} = \operatorname{tg}(45^\circ) \times 0,43\text{m}$$

$$h_{co} = 0,43\text{m}$$

$$V_{co} = \frac{\pi \times (0,43\text{m})^2 \times (0,43\text{m})}{3}$$

$$V_{co} = 0,083\text{ m}^3$$

- **Calculo Volumen total del sedimentador**

$$V_{Ts} = V_C + V_{co}$$

Dónde:

VTs = volumen total del sedimentador (m<sup>3</sup>) = ?

Vc = volumen de la parte cilíndrica del sedimentador = 2,09 m<sup>3</sup>

Vco = volumen de la parte cónica del sedimentador = 0,083 m<sup>3</sup>

$$V_{Ts} = 2,09 \text{ m}^3 + 0,083 \text{ m}^3$$

$$V_{Ts} = 2,17 \text{ m}^3 = 2170 \text{ L}$$

- **Cálculo del tiempo de retención hidráulico**

**Tiempo de retención hidráulica**

$$\text{Trh} = \frac{VT}{QD}$$

Dónde

Trh = tiempo de retención hidráulica (h) = ?

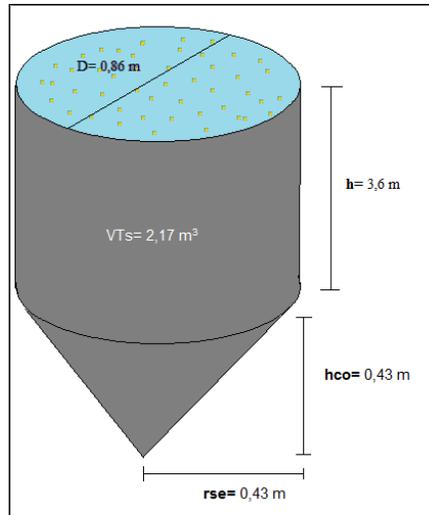
QD = caudal de diseño = 0,00034 m<sup>3</sup>/s

VT = volumen sedimentador = 2,17 m<sup>3</sup>

$$\text{Trh} = \frac{2,17 \text{ m}^3}{0,00034 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$\text{Trh} = 6382,35 \text{ s} = 1,77 \text{ h} = 1 \text{ h } 46 \text{ min}$$

El tiempo de retención hidráulico permitirá que se dé la sedimentación de la arcilla con el color ya que se necesita de 1 h para dicho proceso permitiendo finalmente descargar el agua a otras etapas del sistema de tratamiento con la disminución del 28,5% de color.



**Figura 5-4:** Sedimentador  
**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

**Tabla 28-4:** Resultados Sedimentador

| <b>Sedimentador</b>                       | <b>Resultados</b>  | <b>Unidades</b> |
|---|--------------------|-----------------|
| Área del sedimentador                     | 0,59               | m <sup>2</sup>  |
| Diámetro del sedimentador                 | 0,86               | m               |
| Volumen parte cilíndrica del sedimentador | 2,09               | m <sup>3</sup>  |
| Volumen parte cónica del sedimentador     | 0,083              | m <sup>3</sup>  |
| Volumen total del sedimentador            | 2,17               | m <sup>3</sup>  |
| Tiempo de retención hidráulico            | 1,77 ( 1 h 46 min) | h               |

**Realizado Por:** Andrés Lara, 2018

## 4.2. Discusión de resultados

Los valores de DBO (110 mg/L), DQO (261 mg/L), pH(8,40) y sólidos totales(1312 mg/L) son moderadamente altos, debido a que estos se generan por los procesos de teñido, lavado y fijado, donde se utilizan , colorantes, peróxido de hidrógeno, sosa cáustica y detergentes catiónicos.

En el caso de los sólidos totales en suspensión (<50 mg/L) su valor no es elevado porque el proceso de lavado no involucra operaciones que liberen fibras o partículas de material textil en cantidad apreciable.

El color real de la muestra tuvo un valor promedio de 1066,5 PCU y era visible en dilución 1/20 por lo tanto el color no cumplía con la Norma, esto verifica la contaminación por colorantes en el efluente.

La textura que presentan las arcillas varía desde franco (Cacha) hasta arenosa (Licán) lo que guarda relación con su composición variable en componentes minoritarios (carbonatos, óxidos metálicos, materia orgánica).

En cuanto a dureza, esta varía desde extremadamente firme, en Cacha, suelta, en Chambo, hasta frágil, en Licán.

La sensación al tacto de la arcilla de Cacha es plástica, en tanto que la de Licán es árida y la de Chambo es untuosa.

El color para la arcilla de Cacha, según los códigos de color de la tabla de Munsell, es un rojo amarillento 5YR5/8, para la arcilla de Licán es un color amarillo pardo 10YR6/6 y el color de la arcilla de Chambo es gris oliva oscuro 5YR3/2. Esta variación de color se debe a la diferente proporción de óxidos.

Todos los tratamientos ensayados lograron que los efluentes cumplan el requerimiento de la normativa. La adsorción lograda se considera debida a la interacción de las cargas de la superficie arcillosa que se unen electrostáticamente con los iones del colorante. (Benguella y Yacouta-Nour ,2008, p.277).

El tratamiento aplicado a la arcilla de Cacha que logró mayor remoción fue el térmico, con un rendimiento del 19,7%. Esto podría explicarse debido al efecto de aumento del tamaño de poro consecuencia de este tipo de tratamiento. (Toor et al., 2015:pp.3-8).

La arcilla de Licán que mejor adsorción de color presento fue la que sufrió la modificación ácida, con un porcentaje de remoción del 28,5%. Este efecto se podría explicar por el reemplazo de los iones intercambiables por iones hidrógeno provenientes del ácido mejorando la interacción electrostática entre la superficie de la arcilla y el colorante. (Toor y Jin, 2012: p.81)

El tratamiento básico efectuado en la arcilla de Chambo permitió lograr una remoción de color del 28,4%. Esto se podría explicar porque la base activa la superficie del material llegando a generar nuevos sitios de adsorción, estos sitios se generan por la eliminación parcial de cationes metálicos (aluminio) mejorando también las propiedades de adsorción. (Wang et al., 2015: pp:1-3)

En base a los resultados anteriores, se ha considerado el diseño de un sistema de tratamiento basado en la implementación de un vertedero, canal y sistema de rejillas que se encargarán de la retención de partículas de diámetros elevados; seguido de una etapa de agitación en un tanque circular, donde se pondrá en contacto el efluente con la arcilla de Licán modificada con ácido. En una etapa ulterior la mezcla efluente-arcilla pasará al sedimentador para la separación del material arcilloso del líquido tratado.

### 4.3. Prueba de Hipótesis

#### Hipótesis Específicas

- *La caracterización físico-química de los efluentes textiles supera el límite dado por el TULSMA en el aspecto de color.*

#### **Tipo de Hipótesis:** Descriptiva

El análisis del efluente textil evidenció que el color real no cumplía con el límite dictado por la Norma, por lo tanto, esta hipótesis se confirma.

- *Las características fisicoquímicas y texturales de las arcillas seleccionadas de la Provincia de Chimborazo permiten su aplicación en la remoción de colorantes de efluentes textiles.*

#### **Tipo de Hipótesis:** Descriptiva

Las características fisicoquímicas y texturales de las arcillas estudiadas no encontraron correspondencia con arcillas reportadas en publicaciones científicas; por lo que no hay evidencia bibliográfica suficiente para aceptar la hipótesis. No obstante, los resultados de los ensayos experimentales evidenciaron efectividad para la remoción de colorantes en todos los casos, es decir, tanto en arcillas naturales como modificadas. En vista de lo anterior, la hipótesis se confirma por evidencia experimental.

- *La aplicación de arcillas naturales y modificadas reducirán la carga de color de efluentes textiles.*

#### **Tipo de Hipótesis:** Correlacional

Las arcillas utilizadas en el tratamiento del efluente textil removieron color de los efluentes estudiados. Por lo cual, la hipótesis es confirmada.

- *La aplicación de las arcillas reduce la carga contaminante por colorantes hasta el límite permitido por la Norma.*

**Tipo de Hipótesis:** Correlacional

Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de las arcillas, en todos los casos, fue efectiva para la reducción de la carga contaminante por colorantes hasta el límite permitido por la Norma. Por lo que se confirma la hipótesis.

### **Hipótesis General**

- Las arcillas de la Provincia de Chimborazo son factibles de uso para la remoción de colorantes en efluentes de la industria textil

En base a la confirmación de las hipótesis específicas se considera que la hipótesis general también se verifica. Es decir, las arcillas analizadas son eficaces para remover colorantes de los efluentes textiles. Lo anterior indica que se pueden incluir como una etapa adicional dentro de los sistemas de tratamiento de aguas.

## CONCLUSIONES

- La caracterización físico-química del efluente textil dio los siguientes resultados: DBO(110 mg/L), DQO(261 mg/L), sólidos totales (1312 mg/L), sólidos suspendidos (<50 mg/L), pH y un color real (1066,5 PtCo)
- El análisis textural se determinó que los minerales presentaban las texturas franco (Cacha), arenosa (Licán) y franco-arcillosa (Chambo).
- La consistencia que presentan las muestras de material arcilloso son: extremadamente firme (Cacha), frágil (Licán) y suelta (Chambo).
- Las sensaciones al tacto que se presentan las arcillas son: plástica(Cacha), árida(Licán) y untuosa (Chambo).
- Los minerales arcillosos estudiados van desde un color rojo amarillento para el mineral de Cacha, un color amarillento pardo para la muestra licán y un color gris oliva oscuro para la muestra de chambo.
- Los minerales Arcillosos de la Provincia de Chimborazo presentan una composición química mayoritaria de óxido de silicio como componente mayoritario ( $\text{SiO}_2$ : 52,14 a 53,96 %), seguido de óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 16,04 a 19,49 %), óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 5,10 a 9,44 %), óxido de calcio ( $\text{CaO}$ : 3,76 a 4,90 %), óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ : 0,45 a 2,47 %); y óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ : 0,74 a 1,34 %).
- La composición en óxidos que se presentan de manera minoritaria son: óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ :0,86 a 1,09 %), oxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ :0,11 a 0,20 %), óxido de manganeso ( $\text{MnO}$ : 0,09 a 0,10 %), los compuestos sobrantes conocidos como trazas son:  $\text{CuO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  y  $\text{Cl}$ .

- Todas las muestras de arcillas removieron la cantidad suficiente de color para el cumplimiento de la Norma en lo que a color real respecta. La arcilla de Cacha con tratamiento térmico logró una remoción del 19,7%, el material de Licán ácida presentó una remoción del 28,5% y la arcilla de chambo modificada con una base presentó un porcentaje de remoción del 28,4%, siendo las arcillas de Chambo básica y Licán ácida las que posean porcentajes de remoción próximos, siendo la arcilla de Licán ácida la escogida para su utilización a nivel industrial

## RECOMENDACIONES

- Estudiar la influencia de condiciones de operación (temperatura, pH, dosis de adsorbente y tiempo de contacto) sobre el porcentaje de remoción de color que se pueda lograr con una arcilla.
- Investigar mecanismos para la recuperación de las arcillas, luego que se haya agotado su capacidad de remoción de colorantes.
- Investigar el uso de arcillas para la elaboración de filtros.
- Poner a prueba el uso de la arcilla de Licán modificada con ácido como una etapa dentro de un sistema de tratamientos para efluentes textiles.
- Realizar este tipo de estudios e investigaciones de otras arcillas de diferentes afloramientos que existen en el País

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ACUERDO MINISTERIAL NRO.142.***Listado nacional de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales.*

**ALBIA VERA, Alberto Luis.** Diseño, simulación y maqueta de una lavadora vertical de 400 kilogramos para el proceso de reducción y posterior teñido del índigo [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2017. pp.11-20. [Consulta:2018-04-12]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1425>

**Albuja, María; & Llive, Walter.** *Sistemas de tratamiento de aguas residuales.*Valencia-España: Mcgraw-Hill, 2012, pp.15-130.

**Baltazar, C.** *Biblioteca Inciclopedia de Colorantes.* Barcelona-España:Reverté, S.A.,2013, pp.20-98.

**BARRERA, C.** Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales procedentes de la lavandería «procesos textiles llerena» del cantón Pelileo [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2010. pp. 9-20. [Consulta:2018-02-11]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/4872>

**Beltrán, R.** *Diseño Geotecnico y Estructural de una cimentación en arcilla expansiva.* México D.F: Gráficas Chile, S.A.L, 2009, pp .20-46.

**Benguella, B.; Yacouta-nour, A.** "Adsorption of Bezanyl Red and Nylomine Green from aqueous solutions by natural and acid-activated bentonite". *El sevier* [en línea],2008,(United State of America) 235(3), pp. 276-292. [Consulta: 25 enero 2018] ISSN 0011-9164.  
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.01.016>

**Bergaya, F., & Lagaly, G.** *Purification of natural clays.* Virginia-USA: Réverte ,2013, pp.213-225

**Besoain, E.** *Minerología de arcillas del suelo.* San José-Costa Rica:IICA, 1985,pp.10-160.

**CASANOVA ALQUINGA, Glenda Geovanna.** Desarrollo de materiales compuestos de arcilla reforzada con dióxido de titanio para la aplicación en la degradación fotocatalítica de fenoles [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2009, pp.5-15 [Consulta:2018-02-10]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15149>

**Chaari, Islem; et al.** "Adsorption of a textile dye «Indanthrene Blue RS (C.I. Vat Blue 4)» from aqueous solutions onto smectite-rich clayey rock". *Journal of Hazardous Materials* [en línea], 2009, (Túnez) 172(3), pp.1623-1628. [Consulta: 26 febrero 2018] ISSN 0304-3894. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.035>

**Ciancaglini, N.** *La Determinación de Textura de Suelos Por Método Organoléptico*. Lima-Perú: Limusa, 2015, pp.1-10.

**Colindres, P.** *Tratamiento de Residuales Líquidos Textiles Mediante Oxidación con Ozono*. Madrid-España: Díaz de Santos, 2005, pp.15-25.

**CORONEL VALLADARES, Valeria Estefania, & TENESACA SISALIMA, Maribel Narcisa.** Estudio de factibilidad de un proceso de biorremediación del colorante índigo presente en aguas residuales de la industria textil en la ciudad de Cuenca, a través de hongos ligninolíticos [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2013. pp.20-48 . [Consulta: 2018-02-14]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6725/1/UPS-CT003412.pdf>

**Cortazar, Adriana; et al.** *Contaminación Por Colorantes Provenientes de la Industria Textil*. Murcia. Ediciones 52, 2014, pp.130-150.

**Cuadrado, C.** *Métodos para el tratamiento de efluentes*. Granada-España: McGraw-Hill, 2017, pp.12-30.

**De pablo, L.** *Arcillas, clasificación, identificación y usos*. 1964. México D.F: Limusa, 1964, pp.40-70.

**Dinama.** 2ª ed. Madrid: Vertederos, 2004. P.8

**Erward, H.** *Tratamiento de aguas residuales. Ingeniería Sanitaria* [en línea]. California-USA: Scholar google, 2001. [Consulta: 30 julio 2018]. Disponible en: [http://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0,5&q=aguas+residuales+%22concepto%22](http://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&q=aguas+residuales+%22concepto%22)

**ESPARZA ARIZAGA , Darwin Hugo.** Estudio comparativo del nivel de contaminación de textiles de tinte de lana, utilizando colorantes naturales y sintéticos[En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2016 . pp. 2-20. [Consulta:2018-02-01] .Disponible en: <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456749/2791>

**García, Maribel; & Martínez Soledad.** *Sistemas de tratamientos de efluentes*. 3ª ed. Murcia-España: Limusa, 2003, pp. 70-80.

**GARCÍA ROMERO, Emilia, & SUÁREZ BARRIOS, Mercedes.** Las arcillas (propiedades y usos) [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Complutense, Málaga. España. 2004.pp.15-55. [Consulta: 2018-02-05]. Disponible en: <http://campus.usal.es/~delcien/doc/GA.PDF>

**Guarquila, M.** *Tratamiento de Efluentes Industriales Mediante Procesos Avanzados De Oxidación-Sector Textil*. Murcia-España: Graf S.L., 2013, pp.10-34.

**Heller-kallai, L.** "Thermally modified clay minerals". *Handbook of clay science*, vol.1, nº4 (2013), (United State of America) pp. 289-308.

**Hor, Kar Yan; et al.** "Evaluation of physicochemical methods in enhancing the adsorption performance of natural zeolite as low-cost adsorbent of methylene blue dye from wastewater". *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2016, (China) 118(2), pp.1-12. [Consulta: 09 julio 2018]. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.056>

**Hormaza, Angelina; et al.**"Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz". *Producción más Limpia* [en línea],2013, (Colombia) 7(1), pp. 9-18. [Consulta: 13 junio 2018]. ISSN 1909-0455. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/231/110>

**Ibáñez, Sara; et al.** *Filosilicatos*. Valencia-España: Oviedo, 2010, pp.12-36.

**Indigo química s.l,** 2ª Ed. Murcia: Enciclopedia del color, 2013. P. 169

**Komadel, P.; Madejová, J.** "Acid Activation of Clay Minerals". *Handbook of clay science*, vol.5, n°2(2013), (Túnez) pp. 385-409.

**Kausar, Abida; et al.** "Dyes adsorption using clay and modified clay: A review". *Journal of Molecular Liquids*[en línea],2018, (Túnez) 256(1), pp. 395-407. [Consulta: 11 enero 2018]. ISSN 1201-0345. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.02.034>

**LARGO CASTRO, Diana Paola, & VILLAMARIN CORAL Katherine Marcela.** Caracterización Y Activación Química De Arcilla Tipo Bentonita Para Su Evaluación En La Efectividad De Remoción De Fenoles Presentes En Aguas Residuales [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Univesidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.2013.pp.20-33. [Consulta:2018-01-17]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3838/55361L322.pdf;sequence=1>

**MALDONADO ROGHEL, Andrea Nathaly, & MOLINA AYALA, Renato Miguel.** Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2011. pp. 30-50. [Consulta:2018-01-22]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1508/13/UPS-CT002191.pdf>

**Martínez, S.** *Arcillas como adsorbentes de contaminantes* [en línea]. La Plata- Argentina: Books google, 2017. [Consulta: 22 abril 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=53sfMMEAAJJA>

**Metalcaf & Eddy.** 1ª ed. Bogotá: Canales, 2011, pp. 5-60.

**MORENO JULE, Juan Carlos.** Diseño de un sistema de purificación de agua contaminada para su reutilización en usos industriales: Rama Textil [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Dr. José Matías Delgado, San Salvador, El Salvador. 2007.pp.20-30. [Consulta:2018-02-08]. Disponible en: <http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/05/INI/ADJD0000204.pdf>

**Mu, B.; Wang, A.** "Adsorption of dyes onto palygorskite and its composites: A review". *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 4, n°. 1(2016), (United State of America) pp. 1274-1294.

**Ngulube, Tholiso; et al.** "An update on synthetic dyes adsorption onto clay based minerals: A state-of-art review". *Journal of Environmental Management* [en línea], 2017, (Túnez) 191(3), pp. 35-57. ISSN 0301-4797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.031>

**ORDOÑEZ GALLARDO, María José.** Identificación de los principales impactos generados por la industria de textiles: caso fabricación de "jeans", en el cantón San Pedro de Pelileo, Provincia de Tungurahua [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Politecnica Nacional, Quito, Ecuador. 2016. pp.3-10. [Consulta:2018-01-11]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15080/1/CD-6892.pdf>.

**Orson, Israelsen; & Hansen, Vaughn.** *Principios y aplicaciones del riego*. 2ª ed. Utah-USA: Reverté, S.A., 2003, pp.100-118.

**PEÑA SALAZAR, Karina Elizabeth.** Modificación a la forma de hierro-manganeso-aluminio de una arcilla natural originaria de la provincia de Loja y evaluación de la adsorción de fosfatos a partir de soluciones acuosas [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. 2013. pp.5-15. [Consulta: 2018-02-12]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/15998>

**Peralta, Marco; & Ramirez, Carlos.** *Sepiolita*. Sevilla-España:Secretariado de publicaciones Sevilla, 1998, pp.2-10

**Pérez, F.** *DENIM. Técnicas de Producción I*. Asunción-Paraguay: Santanderina S.A., 2013, pp. 2-16.

**Polsey, Chelsey; & Woodward Sherman.** *Hydraulics of Steady Flow in Open Channels*. 2ª ed. Londrés- Inglaterra: Chapman & Hall, 1941, pp.5-10.

**PUPIALES, Hipólito Remigio.** Diseño de los sistemas eléctrico, térmico e hídrico para las máquinas de lavandería de jeans. [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2014. pp.16-20. [Consulta:2018-03-14]. Disponible en: <http://docplayer.es/68263520-Universidad-tecnica-del-norte.html>

**Rosas, N.; Guerrero, V.** "Activación química de nanoarcillas y su aplicación en la remoción de metales pesados". *ESPE CONGRESO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, vol. 9, n°.2(2014), (Ecuador) pp.117-122.

**SANZ CARBONELL, Francisco Julio.** Tratamiento de aguas textiles industriales mediante fotocátalisis solar y reutilización en nuevas tinturas[En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2015. pp. 20-30. [Consulta:2018-02-03]. Disponible en: <https://isidore.science/document/10670/1.rvj9df>

**Saif ur rehman, Muhammad; et al.** "Adsorption of Brilliant Green dye from aqueous solution onto red clay". *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2013. (United State of America) 228(2), pp. 54-62. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/j.cej.2013.04.094. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.094>, 2013.

**Sedlak, D.** Manual de química moderna. Valencia-España:Razón y Fe,2018, pp. S.l.: Universidad Politécnica de Valencia, 2018, pp.14-20.

**TULSMA LIBRO VI ANEXO I.***Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.*

**VALDIVIESO GAVILANES, Consuelo Pamela.** Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia salinas del cantón guaranda provincia de Bolívar [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2014.pp. 100-125. [Consulta:2018-06-14] .Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6434/1/42T00373.pdf>

**Yagub, Mustafa; et al .** "Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review". *Advances in Colloid and Interface Science* [en línea], 2014. (Túnez) 209(1), pp. 172-184. ISSN 0001-8686. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.04.002>

## ANEXOS

ANEXO A: TULSMA LIBRO VI ANEXO I NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Tabla 9 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

| TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE |  |                   |                                   |
|--|--|-------------------|-----------------------------------|
| Parámetros   | Expresado como                         | Unidad            | Límite máximo permisible          |
| Aceites y Grasas.                                      | Sust. solubles en hexano               | mg/l              | 30,0                              |
| 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   | Ext. carbón cloroformo<br>ECC          | mg/l              | 0,1                               |
| Cloruros   | Cl <sup>-</sup>                        | mg/l              | 1000                              |
| Cobre  | Cu                                     | mg/l              | 1,0                               |
| Cobalto  | Co                                     | mg/l              | 0,5                               |
| Coliformes Fecales                                     | NMP                                    | NMP/100ml         | 2000                              |
| Color real <sup>1</sup>                                | Color real                             | unidades de color | Inapreciable en dilución:<br>1/20 |
| Compuestos fenólicos                                   | Fenol                                  | mg/l              | 0,2                               |
| Cromo hexavalente                                      | Cr <sup>VI</sup>                       | mg/l              | 0,5                               |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)                 | DBO <sub>5</sub>                       | mg/l              | 100                               |
| Demanda Química de Oxígeno                             | DQO                                    | 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              | 1600                              |
| 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                               |

<sup>1</sup> La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

**ANEXO B: Resultados Caracterización Físico-Química del efluente textil.**

|  |   |  |
|--|---|--|
|  <p><b>CESTTA</b><br/>SGC</p> | <p><b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b></p> <p>DEPARTAMENTO :<br/>SERVICIOS DE LABORATORIO</p> <p>Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias)<br/>RIOBAMBA - ECUADOR<br/>Telefax: (03) 3013183</p> |  <p>Servicio de Acreditación Ecuatoriano</p> <p>Acreditación N° OAE LE 2C 06-008<br/>LABORATORIO DE ENSAYOS</p> |
|--|---|--|

|   |  |
|---|--|
| <p><b>INFORME DE ENSAYO No:</b> A-907-18</p> <p><b>ST:</b> 437- 18 ANÁLISIS DE AGUAS</p> <p><b>Nombre Peticionario:</b> NA</p> <p><b>Atn.</b> Andrés Lara</p> <p><b>Dirección:</b> Ayacucho entre roca fuerte y Pichíncha<br/>Riobamba-Chimborazo</p>   |  |
| <p><b>FECHA:</b> 15 de Agosto del 2018</p> <p><b>NUMERO DE MUESTRAS:</b> 1</p> <p><b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:</b> 2018/08/02- 13:30</p> <p><b>FECHA DE MUESTREO:</b> 2018/08/01- 18:00</p> <p><b>FECHA DE ANÁLISIS:</b> 2018/08/02 - 2018/08/15</p> <p><b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua Residual</p> <p><b>CÓDIGO CESTTA:</b> LAB-A 904-18</p> <p><b>CÓDIGO DE LA EMPRESA:</b> Efluente textil</p> <p><b>PUNTO DE MUESTREO:</b> Pelileo<br/>Tanque</p> |  |
| <p><b>ANALISIS SOLICITADO:</b> Físico-Químico</p> <p><b>PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:</b> Andrés Lara</p> <p><b>CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:</b> T máx.:25,0 °C. T min.: 15,0 °C</p>   |  |

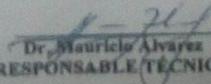
**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

| PARÁMETROS                            | MÉTODO /NORMA                             | UNIDAD | RESULTADO | INCERTIDUMBRE (k=2) | VALOR LÍMITE PERMISIBLE |
|---------------------------------------|---|--------|-----------|---------------------|-------------------------|
| Demanda Química de Oxígeno            | PEE/CESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D | mg/L   | 261       | ±9%                 | -                       |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días) | PEE/CESTTA/46 Standard Methods No. 5210 B | mg/L   | 110       | ±10%                | -                       |
| Sólidos Suspendedos Totales           | PEE/CESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D | mg/L   | <50       | ±20%                | -                       |
| Sólidos Totales                       | PEE/CESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B | mg/L   | 1312      | ±14%                | -                       |

**OBSERVACIONES:**

- Muestra receptada en el laboratorio.
- La columna: Valor limite permisible, está fuera del alcance de la acreditación del SAE.

**RESPONSABLES DEL INFORME:**

  
**Dr. Mauricio Alvarez**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**


**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

### Análisis Físico-Químico

| Determinaciones | Unidades   | Método  | Limites                       | Resultados |
|-----------------|------------|---------|-------------------------------|------------|
| pH              | **         | 4500-B  | 6-9                           | 8,40       |
| Color Real      | Und. Co/Pt | Hach125 | Inapreciable en dilución 1/20 | 1066,5     |

\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO C: Resultados de color real antes de tratar la muestra**

ESPOCH

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08 del 2018

Tipo de muestras: Efluente textil filtrado con membrana de policarbón de 12 um.

Límite Máximo Permisible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

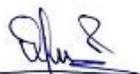
Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

**Análisis Físico-Determinación Color Real**

| Codificación muestra de efluente antes del tratamiento con arcillas de Cacha | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento de la norma |
|--|----------------------|--------------------------|
| CHCAAC   | 1065,0               | No cumple                |
| CHCATR   | 1066,5               | No cumple                |
| CHCABS   | 1069,0               | No cumple                |
| CHCANT   | 1067,5               | No cumple                |

**\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.**

Observaciones:  
Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



ESPOCH

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08 del 2018

Tipo de muestras: Efluente textil filtrado con membrana de policarbón de 12 um.

Límite Máximo Permisible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

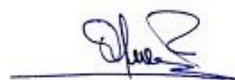
Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

**Análisis Físico-Determinación Color Real**

| Codificación muestra de efluente antes del tratamiento con arcillas de Licán | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento de la norma |
|--|----------------------|--------------------------|
| CHLIAC   | 1065,0               | No cumple                |
| CHLITR   | 1069,0               | No cumple                |
| CHLIBS   | 1089,0               | No cumple                |
| CHLINT   | 1083,0               | No cumple                |

**\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.**

Observaciones:  
Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



ESPOCH

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08 del 2018

Tipo de muestras: Efluente textil filtrado con membrana de polycarbón de 12 um.

Límite Máximo Permisible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

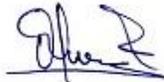
Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

**Análisis Físico-Determinación Color Real**

| Codificación muestra de efluente antes del tratamiento con arcillas de Chambo | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento de la norma |
|---|----------------------|--------------------------|
| CHCHAC  | 1066,0               | No cumple                |
| CHCHTR  | 1063,5               | No cumple                |
| CHCHBS  | 1067,5               | No cumple                |
| CHCHNT  | 1067,0               | No cumple                |

**\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.**

Observaciones:  
Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

**ANEXO D:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha natural

**ESPOCH**

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Cacha sin modificar

Límite Máximo Permisible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

**Análisis Físico-Determinación Color Real**

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCANT                                   | 960,5                | Sí                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:  
Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO E:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha modificada térmicamente.

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Cacha modificada térmicamente.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

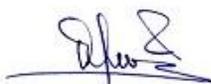
Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCATR                                   | 856,5                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:  
Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO F:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha modificada con ácido.

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Cacha modificada con ácido.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

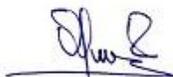
### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCAAC                                   | 939,5                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

**ANEXO G:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Cacha modificada con base.

# ESPOCH

## LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Cacha modificada con base.

Límite Máximo Permisible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

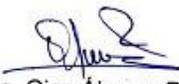
Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCABS                                   | 876.0                | Sí                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:  
Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

**ANEXO H: Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán natural**

**ESPOCH**

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Licán sin modificar.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

**Análisis Físico-Determinación Color Real**

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHLINT                                   | 934,5                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

**ANEXO I:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán modificada térmicamente.

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Licán modificada térmicamente.

Límite Máximo Permisible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

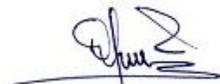
### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHLITR                                   | 790,0                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO J:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán modificada con ácido.

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Licán modificada con ácido.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHLIAC                                   | 762.0                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO K:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Licán modificada con base.

# ESPOCH

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

## **INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Licán modificada con base.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

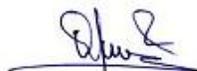
### **Análisis Físico-Determinación Color Real**

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHLIBS                                   | 781.0                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA

**ANEXO L:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo natural.

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Chambo sin modificar.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

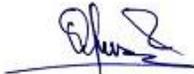
### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCHNT                                   | 892,0                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO M:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo modificada térmicamente.

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Chambo térmicamente.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

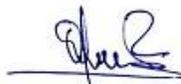
### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCHTR                                   | 839.5                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO N:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo modificada con ácido.

# ESPOCH

## LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Chambo modificada con ácido.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

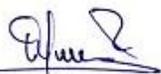
### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCHAC                                   | 841,0                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO O:** Resultados de color después de tratar el efluente con arcilla de Chambo modificada con base.

# ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

## INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Andrés Lara

Fecha de Análisis: 02-08-2018 al 08-08-2018

Tipo de muestras: Efluente textil tratado con arcilla de Chambo modificada con base.

Límite Máximo Permissible: Inapreciable en dilución 1/20

Método: Hach125

Localidad: Lavandería textil "Jordan Jeans", cantón Tungurahua-Pelileo

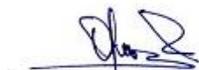
### Análisis Físico-Determinación Color Real

| Codificación muestra de efluente tratado | Resultados Und.Co/Pt | Cumplimiento Norma |
|--|----------------------|--------------------|
| CHCHBS                                   | 764,0                | Si                 |

*\*\*TULSMA TABLA 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



**ANEXO P: Muestreo Arcillas.**

a)



b)



c)



d)



| NOTAS  | Categoría del Diagrama   | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA INGENIERIA<br>QUIMICA<br>Elaborado Por:<br>Andrés Lara | Muestreo Arcillas |      |            |
|--|--|--|-------------------|------|------------|
| a. Muestreo<br>b. Triturado<br>c. Tamices<br>d. Arcilla Tamizada | ° Aprobado<br>° Certificado<br>° Información<br>° Preliminar<br>° Por Aprobar<br>° Por Calificar |  | LAM:              | ESC: | FECHA:     |
|  |  |  | 1                 | A4   | 2018/03/29 |

### ANEXO Q: Purificación Arcillas

a)



b)



c)



d)



| NOTAS   | Categoría del Diagrama   | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA INGENIERIA<br>QUIMICA<br>Elaborado Por:<br>Andrés Lara | Purificación Arcillas |      |            |
|---|--|--|-----------------------|------|------------|
|   |  |  | LAM:                  | ESC: | FECHA:     |
| a. Purificación Con HCl<br>b. Purificación con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub><br>c. Uso de NaCl en Arcillas<br>d. Arcilla purificada | ° Aprobado<br>° Certificado<br>° Información<br>° Preliminar<br>° Por Aprobar<br>° Por Calificar |  | 2                     | A4   | 2018/05/30 |

**ANEXO R: Arcillas tratadas**

**a)**



**b)**



**c)**



| NOTAS   | Categoría del Diagrama   | <b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITECNICA DE<br/>CHIMBORAZO<br/>FACULTAD DE<br/>CIENCIAS<br/>ESCUELA INGENIERIA<br/>QUIMICA</b><br>Elaborado Por:<br>Andrés Lara | Arcillas tratadas |      |            |
|---|--|--|-------------------|------|------------|
|   |  |  | LAM:              | ESC: | FECHA:     |
| a. Arcilla modificada con ácido<br>b. Arcilla modificada con base<br>c. Arcilla modificada termicamente | ◦ Aprobado<br>◦ Certificado<br>◦ Información<br>◦ Preliminar<br>◦ Por Aprobar<br>◦ Por Calificar |  | 3                 | A4   | 2018/06/03 |

**ANEXO S: Textura y Color de Arcillas**

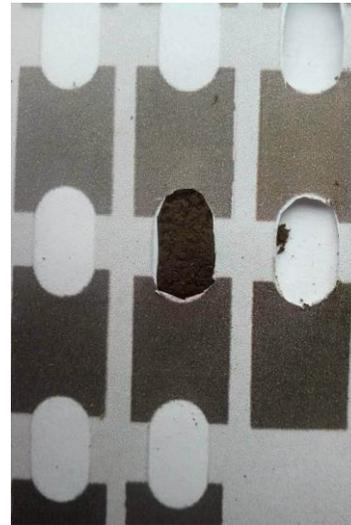
**a)**



**b)**



**c)**



**d)**



| NOTAS  | Categoría del Diagrama   | ESCUELA SUPERIOR<br>POLITECNICA DE<br>CHIMBORAZO<br>FACULTAD DE CIENCIAS<br>ESCUELA INGENIERIA<br>QUIMICA<br>Elaborado Por:<br>Andrés Lara | Arcillas Tratadas |      |            |
|--|--|--|-------------------|------|------------|
|  |  |  | LAM:              | ESC: | FECHA:     |
| a. Sensación al Tacto<br>b. Consistencia<br>c. Color<br>d. Textura | ◦ Aprobado<br>◦ Certificado<br>◦ Información<br>◦ Preliminar<br>◦ Por Aprobar<br>◦ Por Calificar |  | 4                 | A4   | 2018/07/07 |

**ANEXO T: Efluente Textil**

**a)**



**b)**



**c)**



**d)**



| NOTAS  | Categoría del Diagrama   | <b>ESCUELA SUPERIOR<br/>POLITECNICA DE<br/>CHIMBORAZO</b><br><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b><br><b>ESCUELA INGENIERIA<br/>QUIMICA</b><br>Elaborado Por:<br>Andrés Lara | Efluente Textil |      |            |
|--|--|--|-----------------|------|------------|
|  |  |  | LAM:            | ESC: | FECHA:     |
| a. Efluente<br>b. Filtrado del efluente<br>c. Prueba de Dilución 1/20<br>d. Efluente Tratado | ° Aprobado<br>° Certificado<br>° Información<br>° Preliminar<br>° Por Aprobar<br>° Por Calificar |  | 5               | A4   | 2018/08/01 |