



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**ANÁLISIS DE LA ARENA VOLCÁNICA COMO FILTRO EN EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM  
JEANS DEL CANTÓN PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA.**

---

**AUTOR:** Lucia Anabel Malusin Ramos

**TUTOR:** Ing. Mg. Geovanny Paredes

**AMBATO – ECUADOR**

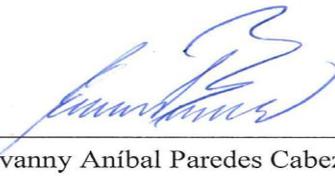
**2019**

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Geovanny Aníbal Paredes Cabezas certifico que el presente Informe del Trabajo Experimental “**ANÁLISIS DE LA ARENA VOLCÁNICA COMO FILTRO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM JEANS DEL CANTON PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA**”, realizado por la Srta. Lucia Anabel Malusin Ramos, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Ambato, Agosto del 2019



Ing. Mg. Geovanny Aníbal Paredes Cabezas

TUTOR

## AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Lucia Anabel Malusin Ramos, con C.I. 180402080-6 egresada de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, por medio del presente, certifico que el siguiente proyecto de investigación: **“ANÁLISIS DE LA ARENA VOLCÁNICA COMO FILTRO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM JEANS DEL CANTON PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, es de mi completa autoría.

Ambato, Agosto del 2019



Lucia Anabel Malusin Ramos

AUTOR

## DERECHOS DE AUTOR

Se autoriza a que este documento titulado **“ANÁLISIS DE LA ARENA VOLCÁNICA COMO FILTRO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM JEANS DEL CANTON PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”** puede ser libremente leído, almacenado, reproducido, distribuido, traducido o mencionado, de cualquier manera y mediante cualquier método de acuerdo a las políticas de la Universidad Técnica de Ambato, siempre que se cumplan y se reconozca el Derecho de Autor, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Ambato, Agosto del 2019



---

Lucia Anabel Malusin Ramos

AUTOR

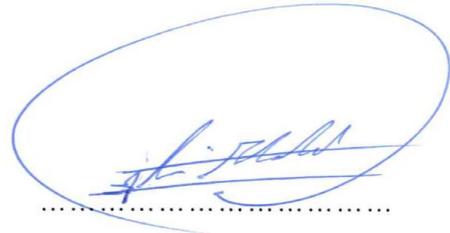
## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de calificación de grado aprueban el Trabajo Experimental: **“ANÁLISIS DE LA ARENA VOLCÁNICA COMO FILTRO EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM JEANS DEL CANTON PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, realizado por la Srta. Lucia Anabel Malusin Ramos, egresada de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.

Para constancia firman:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Diana Carolina Coello', written over a dotted horizontal line.

PHD. Diana Carolina Coello

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Lenin Maldonado N.', written over a dotted horizontal line.

Ing. Lenin Maldonado N.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a Dios quien ha sido mi fortaleza indispensable para cumplir uno de mis anhelados objetivos en mi vida, quien nunca me ha desamparado en los malos momentos que he tenido, y quien me va a guiar toda la vida por el camino del bien y del éxito.

A mis padres Luis y Bélgica quienes han estado a mi lado todo este tiempo, por darme todo el apoyo necesario sobre todo enseñarme a ser una mujer honesta, responsable y humilde.

A mis hermanos quienes me han apoyado y han sido mi ejemplo fundamental de lucha y perseverancia para lograr todo lo que me proponga en la vida.

A mi hija Betsabeth por ser mi fuente de motivación y superación de cada día.

A mi abuelita María Villegas y a mis tías Narcisa y Gloria quienes con sus palabras de aliento no me dejaron caer y me alentaron siempre para que siga adelante y cumpla con mis ideales.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios a mi familia y amigos por ayudarme y motivarme tanto por ser un pilar fundamental en mi vida.

Agradezco a cada uno de mis maestros por brindarme todo su conocimiento y experiencia que me va a ser de mucha utilidad a lo largo de mi carrera profesional.

Agradezco a mi tutor el Ing. Mg. Geovanny Paredes por brindarme su conocimiento y su valioso tiempo para poder cumplir con este proyecto.

Agradezco a la PhD. Diana Coello por su dedicación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de titulación al compartir su conocimiento y tiempo para realizar los ensayos y análisis necesarios para elaborar esta investigación.

Agradezco a la Ing. Verónica Merino ayudante de los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por brindarme todas las facilidades para la culminación de esta investigación.

# ÍNDICE GENERAL

|   |     |
|---|-----|
| PORTADA.....  | I   |
| CERTIFICACION DEL TUTOR.....  | I   |
| AUTORIA DEL TRABAJO.....  | II  |
| DERECHOS DE AUTOR.....  | III |
| APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO.....   | IV  |
| DEDICATORIA.....  | V   |
| AGRADECIMIENTO .....  | VI  |
| ÍNDICE GENERAL.....   | VII |
| RESUMEN EJECUTIVO.....  | 1   |
| CAPITULO I .....  | 3   |
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 3   |
| 1.1. JUSTIFICACIÓN.....   | 3   |
| 1.2. ANTECEDENTES .....   | 4   |
| 1.3. OBJETIVOS.....   | 7   |
| CAPITULO II .....   | 8   |
| 2. MARCO TEÓRICO.....   | 8   |
| 2.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA RESIDUAL .....  | 8   |
| 2.1.1. AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.....   | 9   |
| 2.1.2. AGUAS LLUVIAS .....  | 9   |
| 2.1.3. AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL.....  | 9   |
| 2.2. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL CAUDAL EN EL CAMPO .....                           | 14  |
| 2.3. PERMEABILIDAD .....  | 16  |
| 2.3.1. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.....  | 16  |
| 2.3.2. LEY DE DARCY .....   | 17  |
| 2.3.3. PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD..... | 18  |
| 2.3.4. PERMEAMETRO.....   | 19  |
| 2.4. GRANULOMETRIA.....   | 21  |
| 2.4.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS.....                                      | 21  |
| 2.5. PARAMETROS DE CONTROL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....              | 22  |

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| 2.5.1.             | DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO A LOS 5 DÍAS (DBO <sub>5</sub> ) .....     | 22 |
| 2.5.2.             | DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).....                                    | 22 |
| 2.5.3.             | COLOR.....   | 23 |
| 2.6.               | RELACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD .....                                   | 24 |
| 2.7.               | PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS TEXTILES .....  | 24 |
| 2.7.1.             | PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES .....                      | 25 |
| 2.8.               | ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....                         | 28 |
| 2.9.               | TIPOS DE FILTROS .....   | 31 |
| 2.10.              | ARENA VOLCÁNICA.....   | 32 |
| 2.10.1.            | ARENA VOLCÁNICA NATURAL .....  | 32 |
| 2.10.2.            | PROPIEDADES DE LA ARENA VOLCÁNICA.....                                   | 33 |
| 2.10.3.            | USOS DE LA ARENA VOLCÁNICA.....  | 34 |
| 2.10.4.            | POROSIDAD DE LA ARENA VOLCÁNICA.....                                     | 35 |
| 2.11.              | CARACTERIZACION DE LA ARENA VOLCÁNICA.....                               | 36 |
| 2.12.              | HIPÓTESIS.....   | 39 |
| 2.13.              | SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....                          | 39 |
| CAPITULO III ..... |  | 40 |
| 3.                 | METODOLOGÍA.....   | 40 |
| 3.1.               | NIVELES Y TIPOS DE INVESTIGACIÓN .....                                   | 40 |
| 3.2.               | POBLACION Y MUESTRA.....   | 40 |
| 3.3.               | OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....                                    | 42 |
| 3.3.1.             | VARIABLE INDEPENDIENTE.....  | 42 |
| 3.3.2.             | VARIABLE DEPENDIENTE .....   | 42 |
| 3.4.               | PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....                                 | 43 |
| 3.5.               | INFRAESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA LAVADORA RAM JEANS.....           | 44 |
| 3.6.               | CARACTERIZACION DE LA ARENA VOLCÁNICA.....                               | 45 |
| 3.6.1.             | GRANULOMETRIA.....   | 45 |
| 3.6.2.             | CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y QUÍMICA.....                               | 47 |
| 3.7.               | CONSTANTE DE PERMEABILIDAD .....   | 47 |
| 3.8.               | PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM<br>JEANS | 49 |
| 3.8.1.             | MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES .....                                       | 49 |
| 3.8.2.             | DEMANDA QUÍMICA Y BIOQUIMICA DE OXÍGENO (DQO) .....                      | 49 |
| 3.8.3.             | COLOR.....   | 51 |
| CAPITULO IV .....  |  | 52 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 4.   | ANÁLISIS DE RESULTADOS.....  | 52 |
| 4.1.   | CARACTERÍSTICAS DE LA LAVADORA RAM JEANS.....                                | 52 |
| 4.1.1.   | FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LA LAVADORA RAM JEANS.....                          | 53 |
| 4.1.2.   | CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA UTILIZADOS EN LA LAVADORA RAM JEANS .           | 57 |
| 4.2.   | PARAMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MORFOLÓGICOS DE LA ARENA VOLCÁNICA ....       | 61 |
| 4.2.1.   | DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA .....                                      | 61 |
| 4.2.2.   | CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA VOLCÁNICA.....           | 62 |
| 4.3.   | CALCULO DE LA CONSTANTE DE PERMEABILIDAD DE LA ARENA VOLCÁNICA .....         | 68 |
| 4.4.   | PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE AGUA RESIDUAL .....                            | 70 |
| 4.4.1.   | RELACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD ANTES Y DESPUES DE FILTRAR EL AGUA RESIDUAL | 76 |
| 4.5.   | VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS.....  | 76 |
| CAPITULO V .....                                 |  | 77 |
| 5.   | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 77 |
| 5.1.   | CONCLUSIONES .....   | 77 |
| 5.2.   | RECOMENDACIONES .....  | 78 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                |  | 79 |
| ANEXOS .....                                     |  | 82 |
| ANEXO A. CÁLCULO DE LA PERMEABILIDAD DIARIA..... |  | 82 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1.Métodos para la obtención del caudal en el campo.....                                  | 15 |
| Tabla 2.Grados de permeabilidad.....   | 17 |
| Tabla 3.Objetivos de los procesos de pre tratamiento.....                                      | 29 |
| Tabla 4.Propiedades físicas de la arena volcánica.....   | 33 |
| Tabla 5.Propiedades químicas de la arena volcánica.....  | 34 |
| Tabla 6. Operacionalización de la variable independiente.....                                  | 42 |
| Tabla 7. Operacionalización de la variable dependiente.....                                    | 43 |
| Tabla 8. Recolección de información.....   | 43 |
| Tabla 9. Medida de los tamices usados.....   | 46 |
| Tabla 10. Fechas de recolección de las muestras en las lavadoras.....                          | 49 |
| Tabla 11. Número de veces que se realiza cada proceso en la semana.....                        | 58 |
| Tabla 12..Volumen de agua usado por proceso medido en litros (L).....                          | 58 |
| Tabla 13. Volumen de agua total usado en cada proceso medido en litros (L).....                | 58 |
| Tabla 14. Volumen de agua residual que genera la lavadora.....                                 | 60 |
| Tabla 15. Resultados de la granulometría de la arena volcánica.....                            | 61 |
| Tabla 16. Elementos Químicos de la arena volcánica.....  | 66 |
| Tabla 17. Resultados obtenidos de la permeabilidad durante una semana ensayada la muestra..... | 70 |
| Tabla 18.Concentración DQO antes y después del filtrado del agua residual.....                 | 71 |
| Tabla 19. Concentración DBO <sub>5</sub> antes y después del filtrado del agua residual.....   | 72 |
| Tabla 20. Concentración de COLOR antes y después del filtrado del agua residual.....           | 74 |
| Tabla 21. Relación de la biodegradabilidad antes y después del filtrado.....                   | 76 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Procesos que realizan las tintorerías. ....  | 11 |
| Figura 2. Lavadora industrial.....   | 13 |
| Figura 3. Secadora industrial.....   | 14 |
| Figura 4. Experimento de Darcy.....  | 17 |
| Figura 5. Permeámetro Carga Constante.....   | 20 |
| Figura 6. Mezclador de aguas industriales.....   | 25 |
| Figura 7. Aireación para aguas industriales.....   | 26 |
| Figura 8. Filtro percolador.....   | 26 |
| Figura 9. Sistema de flotación por aire disuelto.....  | 27 |
| Figura 10. Proceso de tratamiento de aguas residuales mediante el uso de un filtro.....  | 28 |
| Figura 11. Etapas planta de tratamiento.....   | 31 |
| Figura 12. Empleo de Puzolana para protección de restos arqueológicos en las obras de restauración del Teatro Romano de Cartagena..... | 35 |
| Figura 13. Roca Volcánica Porosa.....  | 36 |
| Figura 14. Muestra pictórica observada con un Microscopio Electrónico de Barrido....   | 38 |
| Figura 15. Morfología de la superficie del silicio.....  | 38 |
| Figura 16. Morfología de un depósito de Molibdeno-Cadmio-Telurio.....  | 39 |
| Figura 17. Mapa de la ubicación de la lavadora RAM Jeans realizada en Google Earth. ....   | 40 |
| Figura 18. Mapa de la ubicación del volcán Tungurahua obtenida de Google earth.....  | 41 |
| Figura 19. Canales para aguas residuales provenientes de las máquinas y canal hacia tanque de tratamiento.....                         | 45 |
| Figura 20. Tamizadora eléctrica para áridos finos.....   | 46 |
| Figura 21. Equipos y reactivo HANNA INSTRUMENT. (a) Fotómetro (b) Reactivo (c) Digestor.....   | 50 |
| Figura 22. Fotómetro HANNA para determinar color.....  | 51 |
| Figura 23. Diagrama del proceso de lavado y entrega de prendas que realiza la lavadora RAM Jeans.....                                  | 57 |
| Figura 24. Curva Granulométrica de la arena volcánica.....   | 61 |
| Figura 25. Micrografía de la muestra M1.....   | 62 |
| Figura 26. Micrografía de la muestra M2.....   | 63 |
| Figura 27. Micrografía de la muestra M3.....   | 63 |
| Figura 28. Micrografía de la muestra M4.....   | 64 |
| Figura 29. Espectro EDS de la muestra M1.....  | 64 |
| Figura 30. Espectro EDS de la muestra M2.....  | 65 |
| Figura 31. Espectro EDS de la muestra M3.....  | 65 |
| Figura 32. Espectros EDS en puntos específicos de las imágenes SEM.....  | 66 |
| Figura 33. Porcentajes en masa de los elementos presentes en la arena volcánica.....   | 67 |
| Figura 34. Promedio de los porcentajes en masa de los elementos presentes en las 4 muestras.....                                       | 68 |
| Figura 35. Concentración de DQO antes y después del filtrado del agua residual.....  | 71 |
| Figura 36. Porcentaje absorbido de eficiencia de concentración de DQO.....   | 72 |
| Figura 37. Concentración de DBO <sub>5</sub> antes y después del filtrado del agua residual.....                                       | 73 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 38. Porcentaje absorbido de eficiencia de $DBO_5$ .....                        | 73 |
| Figura 39. Concentración de Color antes y después del filtrado del agua residual..... | 75 |
| Figura 40. Porcentaje absorbido de eficiencia de concentración de COLOR .....         | 75 |

## **RESUMEN EJECUTIVO**

**TEMA:** ANÁLISIS DE LA ARENA VOLCÁNICA COMO FILTRO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM JEANS DEL CANTON PELILEO PROVINCIA DE TUNGURAHUA.

**AUTOR:** Lucia Anabel Malusin Ramos

**TUTOR:** Ing. Mg. Geovanny Aníbal Paredes Cabezas.

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una investigación de campo y experimental que nos permitió conocer el estado actual que presenta la lavadora de prendas textiles que tiene su matriz y funciona en el cantón Pelileo. Se determinó el caudal que presenta la lavadora en estudio y el volumen de agua que ocupa en el proceso de teñido y lavado de prendas de jeans.

Del estudio de campo realizado en la lavadora se obtuvo el volumen que se utiliza en el proceso de lavado y teñido de las prendas textiles para con esos datos realizar el cálculo de caudal total utilizado. El caudal promedio de salida fue de 4.12 L/seg, el volumen promedio de agua utilizada en el proceso de lavado y teñido de prendas jeans es de 592900 L/semana respectivamente.

En el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se analizó los parámetro físico-químicos del agua residual proveniente de la lavadora de jeans, generando resultados que están dentro de los límites máximos permisibles del TULSMA. Los porcentajes de reducción más altos obtenidos son de 88.52 por ciento de DQO y DBO5 y el 86.67 por ciento para la remoción de color.

Estudios anteriores realizados nos dan una pauta para asumir que ciertos medios orgánicos tienen la capacidad de actuar como resinas naturales, capaces de remover contaminantes mediante mecanismos de adsorción/absorción. Luego de realizar ensayos podemos expresar que la biofiltración con arena volcánica si es un medios eficaz capaz de remover residuos de las aguas residuales de las industrias textiles.

**Palabras clave:** Análisis, Arena Volcánica, Filtro, Aguas Residuales, Parámetros físicos- químicos, absorción, biofiltración.

## SUMMARY

**THEME:** ANALYSIS OF THE VOLCANIC SAND AS A FILTER IN THE WASTEWATER TREATMENT OF THE RAM JEANS WASHER OF CANTON PELILEO PROVINCE OF TUNGURAHUA.

For the development of this work, a field and experimental investigation was carried out that allowed us to know the current state of the textile garment washer that has its matrix and operates in the Pelileo canton. The flow rate of the washing machine under study was determined and the volume of water it occupies in the process of dyeing and washing jeans.

From the field study carried out in the washing machine, the volume that is used in the washing and dyeing process of the textile garments was obtained in order to calculate the total flow used with these data. The average output flow was 4.12 L / sec, the average volume of water used in the process of washing and dyeing jeans is 592900 L / week respectively.

In the laboratory of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering of the Technical University of Ambato, the physical - chemical parameters of the residual water coming from the jeans washing machine were analyzed, generating results that are within the maximum permissible limits of the TULSMA. The highest reduction percentages obtained are of 88.52 percent of COD and BOD5 and 86.67 percent for the removal of color.

Previous studies give us a guideline to assume that certain organic media have the capacity to act as natural resins, capable of removing contaminants through adsorption / absorption mechanisms. After conducting tests we can express that biofiltration with volcanic sand is an effective emanates capable of promoting waste from the wastewater of textile industries.

Keywords: Analysis, Volcanic Sand, Filter, Wastewater, Physical-chemical parameters, absorption, biofiltration.

# CAPITULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. JUSTIFICACIÓN

La obligación actual de dotar agua limpia para el consumo humano a un aumento de población mundial nos exige investigar y adaptar tecnologías que proporcionen la protección, conservación y recuperación del recurso hídrico [1].

Las aguas residuales que proceden de industrias textiles son desde hace muchos años un tema de mucho estudio debido a la contaminación ambiental que representan por sus elevadas demandas de oxígeno. La posibilidad de utilizar como materia prima los residuos de una empresa, debería ser la verdadera solución al problema, razón por lo cual los ingenieros civiles debemos estar capacitados para crear soluciones tecnológicas y afrontar las problemáticas sociales [1], [2].

La contaminación que producen los residuos industriales se originan de los vertidos químicos de las fábricas y representan características alarmantes, en las dos ciudades más grandes e industrializadas del país: Quito y Guayaquil. También encontramos casos similares de contaminación ambiental por vertidos industriales en ciudades como Cuenca, Riobamba, Ambato, Latacunga y Esmeraldas, siendo parte de esta lista el Cantón Pelileo. La carencia de una adecuada planificación, tanto industrial como tecnológica y de una apropiada zonificación (las industrias están ubicadas en forma caótica) han contribuido a crear dicha situación [4], [5].

De acuerdo a estudios realizados por Fundación Natura, en 1991, se pudo determinar que el nivel de concentración de contaminantes en las aguas industriales de las cuatro principales ciudades del país (Quito, Guayaquil, Ambato y Esmeraldas), arrojaron como resultado que el deterioro de la calidad de los recursos hídricos es alarmante, principalmente por la presencia de metales pesados y otras sustancias fenólicas [6].

Es por eso que la creciente presión medio ambiental de los ciudadanos exige el tratamiento de aguas residuales provenientes de industrias textiles razón por la cual los ingenieros civiles tienen un gran reto de encontrar un proceso técnico adecuado para reducir la contaminación con costos mínimos [2]. De allí se origina la idea de realizar el análisis de filtros utilizando medios porosos como material filtrante.

En este proyecto se plantea la biofiltración como un proceso alternativo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de industrias textiles empleando la arena volcánica como un material filtrante la misma que es natural de bajo costo y colabora en la remoción de contaminantes orgánicos tóxicos dicha utilización de la misma incrementa la velocidad de remoción del azul de metileno [3].

## **1.2. ANTECEDENTES**

Las aguas residuales de industrias textiles han llegado a ser en cuantiosos lugares una preocupación que iguala o supera al de las aguas negras domésticas. Su descarga al sistema de alcantarillado de la ciudad está prohibido, sin un tratamiento previo y adecuado, ya que los desechos contaminantes y tóxicos contenidos en dicha agua perjudican la vida acuática del ecosistema marino, donde finalmente son descargadas. Estas industrias textiles están en la obligación de tratar sus efluentes o aguas residuales totalmente en su fuente. Las industrias textiles tienen elevados consumos de agua debido a que una gran parte del proceso productivo es en húmedo [10].

Las aguas residuales presentan características particulares como: almidones, dextrinas, gomas, glucosa, ceras, pectinas, alcoholes, ácidos grasos, ácido acético, jabones, detergentes, hidróxido de sodio, carbonatos, sulfuros, cloruros, colorantes y pigmentos, peróxidos etc., y el valor del pH varía entre 5 y 10, de esta forma prevalece el color del colorante usado. De la 700.000 toneladas de tintes y colorantes que se origina cada año a nivel mundial, el 10 al 15% se arrojan en los efluentes que provienen de los procesos de teñido [4].

La biofiltración sobre cama orgánica es un tratamiento eficiente para ser utilizado en pequeñas industrias ya que representa valores entre 90 y 99% en función de los parámetros estudiados sobre este material. Sus costos bajos, la viabilidad de operación

y de mantenimiento, hacen de esta tecnología una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales [9].

Entre los procesos tradicionales más importantes que se pueden mencionar para tratar aguas residuales de industrias textiles se encuentra la adsorción con carbón activado, sistemas de tratamiento de agua con oxigenación inducida, electrólisis y digestión anaerobia, dichos tratamientos incurren en gastos de operación y mantenimiento excesivamente elevados razón por lo cual las industrias pequeñas no pueden costear estos valores. Tomando mucho en cuenta esta preocupación la bioadsorción se presenta como un proceso alternativo, económico y con impacto Ambiental razonable [3]. La bioadsorción se refiere a la captación de compuestos por medio de una biomasa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico, implicando una fase sólida (adsorbente) y una fase líquida (disolvente) que incluye los residuos que van a ser adsorbidos (adsorbato). Existen variables que actúan en la capacidad de adsorción durante el proceso, entre las que mencionamos: la relación adsorbente/disolución, el tamaño de partícula y el pH [3], [4].

Los filtros elaborados de material granular han sido desde siempre uno de los aparatos más empleados en la ingeniería hidráulica, tanto en las redes viales como en plantas de tratamiento de agua, por eso es sumamente importante determinar un equivalente matemático de la constante de filtración en materiales de acuerdo a su tamaño. Las normas INEN nos especifican que para que un árido sea considerado como material grueso se tomen en cuenta las siguientes dimensiones 2.36mm (N.8) a 75.00mm (3”), siendo estos tamaños los más utilizados para la elaboración de capas filtrantes para fluidos [11].

Los filtros de arena pueden ser elaborados de acceso libre (abiertos a la superficie) o enterrados en el suelo (filtros enterrados). Los filtros de arena de acceso libre generalmente están sobre la superficie del suelo y por lo general tienen una tapa que facilita el acceso al sistema de arena [11], [12].

La Carrera de Ingeniería Civil perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato ha realizado diferentes Trabajos Experimentales para la obtención de Títulos de Ingenieros Civiles de los cuales citamos los más relevantes en el uso de diferentes materiales para la elaboración de filtros

artesanales en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavadoras de jeans, con el fin de identificar los materiales con mayor disminución de los niveles de contaminación de aguas residuales generadas por las lavadoras de jeans.

Con el material de CAMA DE TURBA se obtuvo que a los 36 días en la primera filtración se logró remover el DQO de un valor de 995(mg/L) a 329(mg/L) ,en los días 4 al 16 se observa una remoción leve del DQO causado por la estabilización del biofiltro y por retención inadecuada del agua residual de 12 horas en la filtración, en los posteriores días donde se realizó una filtración continua (sin retención) y con el filtro ya estabilizado, se observa una disminución considerable del DQO llegando a niveles menores a los establecidos en la tabla 11 del anexo 1 Libro VI del TULSMA.

En la variación de los sólidos se ve un comportamiento similar al DQO. El primer día de filtración se logró remover gran cantidad de ST de 1620(mg/L) a 995(mg/L), sin embargo, en los días 4 al 16 se observa un incremento considerable de los ST, debido a la estabilización del filtro, la retención de 24 horas del agua residual y principalmente por la carga de macropartículas presentes en la turba y la piedra pómez usadas como medios filtrantes. Posterior a los 16 días se observa una disminución paulatina de los ST, llegando los 36 días a un valor más bajo que del límite máximo según el TULSMA Libro VI anexo 1 tabla.

Con los resultados obtenidos del DBO5 se observa que en la primera filtración existe remoción DBO5, en los días del 4 al 12 se observa una menor remoción causada por la estabilización del biofiltro y por la retención de 24 horas del agua residual. A partir del día 16 hasta el día 36 se observa una disminución paulatina del DBO5 llegando a valores permisibles por el TULSMA.

Con los resultados obtenidos mediante observación, se puede determinar de una manera visual como el color de las muestras analizadas, varían considerablemente. La variación del color, cambia considerablemente en las muestras analizadas previas a la biofiltración y posteriores a ella. Con lo cual la variación de color fue positiva pasando de colores oscuros a colores claros casi transparente, y con indicios subjetivos pero valederos para demostrar que la turba es un material muy eficiente para el tratamiento de agua residual proveniente del lavado de jeans.

Estudios anteriores también determinan que la electrocoagulación es una alternativa utilizada en la remoción de contaminantes de distintas aguas residuales, como por ejemplo tales como las de la industria de galvanoplastia, electro-plateado metálico, fábricas de envasados, industria del papel (desperdicios de molinos de papel), peleterías, molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenido de aceites como los generados por talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos, transporte, almacenamiento y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las aguas para consumo humano y residuales domésticas [5].

### **1.3. OBJETIVOS**

En el estudio se investiga a la arena volcánica como filtro en el tratamiento de aguas residuales de la lavadora RAM Jeans del Cantón Pelileo para ello se define 3 objetivos:

1. Conocer la infraestructura y funcionamiento básico de la lavadora RAM JEANS.
2. Determinar el comportamiento de los caudales utilizados en la lavadora RAM JEANS.
3. Monitorear las características de biodegradabilidad ( $DBO_5$  - DQO) y color de las aguas residuales provenientes de la lavadora de jeans su origen y luego del proceso de filtración.

# CAPITULO II

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales.

#### **Características de las aguas residuales:**

##### **Por su estado físico:**

- Fracción suspendida.
- Fracción coloidal.
- Fracción soluble.
- Sustancias químicas (composición)

Las aguas servidas están formadas por un 99 % de agua y un 1 % de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.

Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones.

## **Características bacteriológicas**

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de evitar una contaminación biológica al cortar el ciclo epidemiológico de transmisión.

Las aguas residuales pueden ser de origen doméstico, pluvial e industriales.

### **2.1.1. AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

Es aquella con la que estamos en contacto todos los días. Este tipo de agua residual es el resultado del uso del agua en las viviendas y núcleos urbanos. Se trata de un agua residual que es especialmente alta en contaminantes orgánicos y sólidos sedimentables, así como en bacterias. Se trata del agua que desechamos cuando tiramos de la cadena del inodoro, cuando nos duchamos, cuando usamos el fregadero de la cocina, incluso el agua de las piscinas.

### **2.1.2. AGUAS LLUVIAS**

La humanidad cree que este tipo de agua no es importante sin embargo constituye un verdadero ejemplo de agua residual generada por la acción que el ser humano tiene en la atmósfera. Este tipo de agua residual se produce por efecto de la lluvia al arrastrar los contaminantes presentes en la atmósfera, especialmente en los núcleos urbanos, que llegan al suelo y lo contaminan. La mayor parte de esta agua, al tener lugar en las ciudades, termina en el alcantarillado público, donde se unen con las aguas residuales domésticas o urbanas.

### **2.1.3. AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL**

Las aguas industriales resultan de los procesos que se llevan a cabo en el sector secundario de la economía que se refiere a las actividades industriales. Aquí se incluye el agua que se desecha de las fábricas, a las plantas de producción energética o cualquier

otra actividad que esté destinada a la fabricación de productos consumibles o productos manufactureros. Este tipo de agua residual se caracteriza por contener un elevado nivel de componentes contaminantes del tipo de metales pesados, entre los que se encontrarían el plomo, el níquel, el cobre, el mercurio, o el cadmio entre muchos otros. Así mismo, también se trata de aguas residuales que contienen cantidades ingentes de elementos químicos artificiales de una variedad amplísima.

### ***2.1.3.1. INDUSTRIA DE LAVADO DE PRENDAS TEXTILES EN JEANS***

Las aguas industriales han sido estudiadas por mucho tiempo debido a los problemas ambientales que ocasiona su vertido a cuerpos de aguas naturales. Tradicionalmente, estas aguas han sido tratadas con procesos físicos y químicos que resultan costosos para remover los colorantes presentes. Actualmente se han desarrollado bioprocesos, como la biosorción, como una alternativa económica para este tipo de residuales.

La industria del jean requiere una gran cantidad de agua para su producción, generando una gran cantidad de aguas residuales. En promedio, el impacto ambiental de estos efluentes líquidos es alto, debido principalmente a la gran variedad de materia prima, reactivos y sustancias químicas tóxicas utilizadas en el proceso.

La industria de tintorería textil, tiene como primera característica las operaciones de orden manual, para efectuar los procesos de teñido de las prendas. Se desarrolla un tipo de sistema autónomo implementado mediante controladores lógicos programables (PLC), el cual permite la optimización de los recursos como el agua, químicos y tal vez el más importante: el tiempo. Dicha implementación autónoma permite al encargado del proceso seleccionar el tipo de estilo de teñido, contar con la posibilidad de optimizar el tiempo de producción y garantizar la trazabilidad del producto final. La implementación de este sistema automático y de control en la producción de teñido textil no solo debe entregar un aumento en la optimización de recursos, sino también un incremento considerable en la producción y calidad de las prendas tipo jeans obtenidas, a la vez que se reduce el reproceso considerablemente. Una gran ventaja en el desarrollo de este sistema, independiente del proceso de teñido, es poder ser operado desde un panel de

control sin la necesidad de que un operario intervenga en cada decisión del subproceso de la lavadora industrial, ganando así un aumento en la seguridad industrial.

### 2.1.3.2. DESCRIPCION DEL PROCESO

En cada industria con el fin de optimizar los procesos de teñido de prendas, requiere que se realice una evaluación minuciosa de cada una de las etapas del proceso, desde el conocimiento del peso de la prenda, el tipo de tela y sus diferentes procesos: desengome (prelavado), Stone, teñido, fijado, blanqueo, neutralizado, suavizado o acabado final de la prenda. Se determinaron parámetros, tales como: relación de baño, pH, temperatura, dosificaciones de productos químicos y tiempos de procesos. Cada proceso requiere de 1 a 3 enjuagues dependiendo de la capacidad de la maquinaria, de allí la necesidad del uso de grandes cantidades de agua.

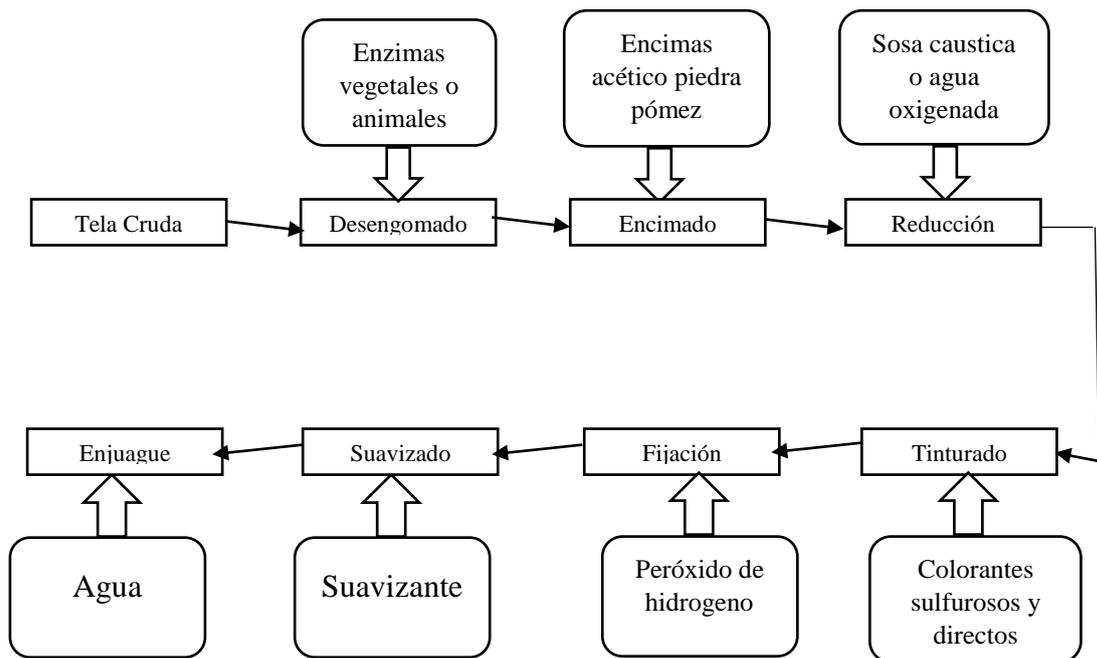


Figura 1. Procesos que realizan las tintorerías.

### ***2.1.3.3.CLASES DE TEÑIDOS***

Teñido.- El teñido es el proceso que dependiendo del tipo de tela y la demanda del cliente, puede ser directo o reactivo para el algodón y disperso para el poliéster. La aplicación de material colorante se realiza en baños con alta temperatura en presencia o no de agentes químicos auxiliares que ayudan a una mejor calidad de teñido.

### ***2.1.3.4.CLASES DE LAVADO***

**Desengomado/Lavado.-** Los jeans deben ser desengomados para remover los componentes de engomado que fueron aplicados a los hilos índigo de urdimbre desde antes del tejido. Muchos consumidores prefieren los tonos más oscuros de denim que no fueron deslavados severamente. Los enjuagues, como el enjuague oscuro, utilizan un enjuague químico para suavizar la tela y fijar el color.

**Stone.-** Es el proceso que consiste en la pérdida de color que se produce en la ropa (aspecto de envejecimiento), dejando puntos más blancos en la superficie de manera aleatoria. Este proceso puede ser físico o químico, donde se utiliza piedra pómez o abrasivos o enzimas que proporcionan un alto efecto de envejecimiento en tiempos más cortos y evitan el daño de las lavadoras causado por la piedra pómez.

**Descrude.-** Tratamiento alcalino para la remoción de las impurezas naturales del algodón (ceras, aceites, grasas, pectinas y materiales orgánicos como metales y suciedad). En este proceso se busca que el tejido tenga excelente absorbencia durante la tintura, mediante un tratamiento con detergente, soda y secuestrante.

**Blanqueo .-** Es el proceso que se realiza cuando se requiere alto grado de blanco, ya sea para posterior teñido con colores claros o para blanqueo óptico que es utilizado para destacar el contraste del hilo de trama blanco con el hilo de urdimbre azul, proporcionando vivacidad.

**Fijado.-** Es el proceso que consiste en la aplicación de productos químicos después de la tintura mejorando la resistencia del color a los efectos de los lavados y la luz.

**Esponja.-** Proceso manual con esponja y permanganato de potasio para imitar desgastes en las prendas



*Figura 2. Lavadora industrial*

#### ***2.1.3.5. CLASES DE ACABADOS***

**Neutralizado.-** Lavado de la prenda para neutralizar los procesos de degradación en Stone y esponja.

**Suavizado.-** Es el proceso que consiste en la terminación del proceso donde se eliminan todos los contaminantes de la prenda.

**Centrifugado.-** Es el proceso que consiste en retirar el agua de las prendas que salen de las lavadoras, se descarta la piedra pómez sobrante y se centrifugan las prendas para eliminar la mayor parte de su humedad.

**Secado.-** Es el proceso que consiste en retirar las prendas de las centrifugas y colocarlas en las secadoras para eliminar toda la humedad restante.



*Figura 3. Secadora industrial*

*Fuente.- <https://reduccion-colorantes-aguas-residuales-industria-textil>*

## **2.2. MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DEL CAUDAL EN EL CAMPO**

Llamamos caudal a la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

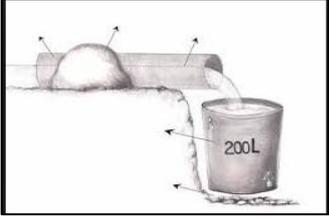
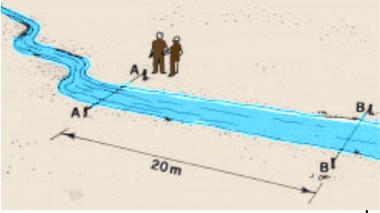
El caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad:

$$Q = V * A$$

Donde:

- Q es el caudal (m<sup>3</sup>/s)
- V es la velocidad (m/s)
- A es el área de la sección transversal de la tubería (m<sup>2</sup>).

Tabla 1. Métodos para la obtención del caudal en el campo

| Método                        | Descripción  | Grafico  |
|-------------------------------|--|--|
| Método del Balde              | Este método consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido. Luego se divide el volumen en litros para el tiempo promedio en segundos. Determinando así el caudal en L/seg.   |    |
| Método del flotador           | Sirve para medir caudales de pequeños a grandes con mediana exactitud. Se lo emplea en arroyos de agua tranquila y durante períodos de buen tiempo, porque si hay mucho viento y se altera la superficie del agua, el flotador puede no moverse a la velocidad normal. |    |
| Método de sección transversal | Es considerado como un método sencillo para medir un caudal de pequeño a grande con mejor exactitud que el del flotador. Se lo emplea en agua tranquila, en momentos de buen tiempo, cuando hay poco viento.   |  |
| Vertederos                    | Son aberturas sobre las que se desliza un líquido. Su arista superior está sobre el nivel de la superficie libre del líquido. Se usa para medir caudales en canales, ríos, etc.  |  |

## 2.3. PERMEABILIDAD

Es la capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si la cantidad de fluido es despreciable.

La velocidad con la que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- La porosidad del material y su estructura;
- La viscosidad del fluido considerado, afectada por su temperatura
- La presión a que está sometido el fluido.

Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que permitan un paso fácil del fluido a través del material. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

Por otro lado, hay que hablar de una "permeabilidad intrínseca" (también llamada "coeficiente de permeabilidad"); como constante ligada a las características propias o internas del terreno. Y de una "permeabilidad real" o de Darcy, como función de la permeabilidad intrínseca más las de las características del fluido.

### 2.3.1. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad es una característica de los suelos, específicamente está ligado a la **Ley de Darcy** que se refiere al flujo de fluidos a través de los suelos. El coeficiente de permeabilidad, generalmente representado por la letra ***k***, es extremadamente variable, según el tipo de suelo.

El coeficiente de permeabilidad es función, entre otras cosas de la viscosidad del agua, que es función a su vez de la temperatura (normalmente se establece la permeabilidad para 20 °C; del tamaño y continuidad de los poros; y, de la presencia de grietas y discontinuidades.

## Clasificación de los suelos según su coeficiente de permeabilidad

Tabla 2. Grados de permeabilidad

[https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_permeabilidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_permeabilidad)

| Grado de permeabilidad    | Valor de k (cm/s)     |
|---------------------------|-----------------------|
| Elevada                   | Superior a $10^{-1}$  |
| Media                     | $10^{-1}$ a $10^{-3}$ |
| Baja                      | $10^{-3}$ a $10^{-5}$ |
| Muy baja                  | $10^{-5}$ a $10^{-7}$ |
| Prácticamente impermeable | Menor de $10^{-7}$    |

### 2.3.2. LEY DE DARCY

Darcy describe, con base en experimentos de laboratorio, las características del movimiento del agua a través de un medio poroso.

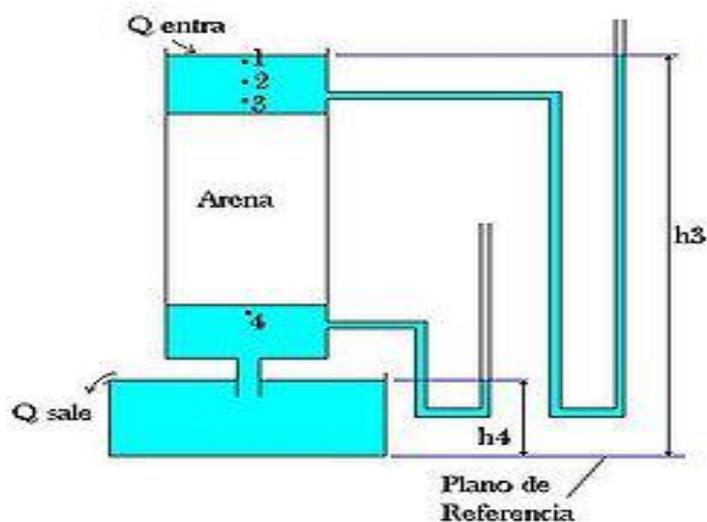


Figura 4. Experimento de Darcy

Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Darcy](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Darcy)

La expresión matemática de la **Ley de Darcy** es la siguiente:

$$Q = k \frac{h_3 - h_4}{L} A = k \cdot i \cdot A$$

Siendo:

Q= gasto, descarga o caudal en m<sup>3</sup>/s.

L= longitud en metros de la muestra.

k= una constante, actualmente conocida como **coeficiente de permeabilidad** de Darcy, variable en función del material de la muestra, en m/s.

A= área de la sección transversal de la muestra, en m<sup>2</sup>.

h<sub>3</sub>= altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la entrada de la capa filtrante.

h<sub>4</sub>= altura, sobre el plano de referencia que alcanza el agua en un tubo colocado a la salida de la capa filtrante.

### **2.3.3. PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD**

#### **2.3.3.1. RELACION DE VACIOS**

Cuando tenemos una muestra compactada el volumen que ocupan las partículas sólidas no varían pero el volumen de vacíos si se reduce haciendo más difícil el paso del agua a través del material. El porcentaje de vacíos en una sección definida con relación al porcentaje de sólidos, equivale a la sección real por donde pasaría el fluido. Tomando en cuenta la ecuación de continuidad que dice a mayor área mayor será el volumen del agua que pasa por una unidad de tiempo.

### ***2.3.3.2. TEMPERATURA***

Se debe tomar mucho en cuenta que la viscosidad de un fluido está directamente relacionada con la temperatura, dado que a mayor temperatura la viscosidad disminuye y este se mueve con más facilidad, esta propiedad a su vez condiciona la velocidad del mismo al momento de hacer contacto con las partículas. En aguas subterráneas esta propiedad es despreciable ya que las variaciones de viscosidad en el agua con respecto a la temperatura son mínimas.

### ***2.3.3.3. GRADO DE SATURACION***

Se dice que el grado de saturación de los suelos es directamente proporcional a la permeabilidad del mismo, cuando el grado de saturación aumenta la permeabilidad también aumenta.

### **2.3.4. PERMEAMETRO**

El permeámetro es un aparato que sirve para medir la permeabilidad de los materiales ante el paso de fluidos a través de ellos. Es un método directo de medir el coeficiente de permeabilidad.

#### ***2.3.4.1. PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE***

El permeámetro de carga constante se lo utiliza para suelos granulares, se mide el caudal de agua que atraviesa una muestra de suelo saturada colocada en un dispositivo llamado permeámetro. El volumen de agua se mide manteniendo el nivel de agua constante en un tubo alimentador conectado al aparato. Las pruebas se hacen sobre una muestra alterada, lo que puede ser un inconveniente para transportar los resultados a suelos naturales.



Figura 5. Permeámetro Carga Constante

Fuente: <https://www.google.com/search?q=permeametro+carga+constante&source>

#### 2.3.4.2. CALCULO DEL COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD

El coeficiente de permeabilidad se determina con la fórmula:

$$K = \frac{q}{i \times A \times t} \times fc \quad \text{Expresado en cm/s}$$

Donde:

q= volumen de agua escurrida, a través de la muestra, en el tiempo t, expresado en cm<sup>3</sup>

i= gradiente hidráulico  $\delta H/L$

A= área de la sección transversal de la muestra en cm<sup>2</sup>

t= tiempo del ensayo en segundos

$\delta H$  = diferencia de presión entre la entrada y la salida de la muestra, en cm

L= altura de la muestra analizada en cm

$f_c$  = coeficiente de corrección de temperatura  $f_c = \frac{\gamma^T}{\gamma_{20}}$

$\gamma^T$  = viscosidad del agua a T °C en la que se desarrolla la medición

$\gamma_{20}$  = Viscosidad del agua a 20 °C

### **2.3.4.3. POROSIDAD**

La porosidad o fracción de huecos es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100 %. El término se utiliza en varios campos, incluyendo farmacia, cerámica, metalurgia, materiales, fabricación, ciencias de la tierra, mecánica de suelos e ingeniería.

## **2.4. GRANULOMETRIA**

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los cinco tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tienen aberturas que varían desde la malla No. 200 hasta No. 4

### **2.4.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS**

- PARA AGREGADO FINO

a. Módulo de Finura ( MF )

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100, para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½".

$$MF = \frac{\% \text{ Retenido Acumulado}}{100}$$

100

Se considera que el MF de una arena adecuada para producir concreto debe estar entre 2, 3, y 3,1.

Donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina, un valor de 2,5 una arena de finura media y más de 3,0 una arena gruesa.

## **2.5. PARAMETROS DE CONTROL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **2.5.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO A LOS 5 DÍAS (DBO<sub>5</sub>)**

La prueba de DBO mide la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización u oxidación de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio. También es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos por litro (mg/l). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; por eso se lo denomina como D.B.O<sub>5</sub>.

### **2.5.2. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

La Demanda Química de Oxígeno es una expresión del poder contaminante del agua, principalmente en aguas residuales que contienen compuestos tóxicos a los microorganismos respecto de la descomposición de la materia orgánica. Es un factor que determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica por

medios químicos en una muestra de agua residual, bajo condiciones específicas de agentes oxidantes, temperatura, tiempo y convertirla en dióxido de carbono y agua. Es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica. Para realizar el ensayo se puede realizar utilizando un fotómetro HI 83099, reactivos de Demanda Química de Oxígeno y un termo reactor para llevar a cabo la reacción, este proceso se puede demorar unas tres horas.

### **2.5.3. COLOR**

El color de un agua puede tener origen orgánico o inorgánico. Puede ser ocasionado por la presencia de iones metálicos (hierro y manganeso), humos, lodo, arcilla, plancton, vegetales en descomposición, o por la descarga en ella de efluentes industriales coloreados (fabricación de papel, fibras textiles, productos químicos, tenerías, etc.); muchas veces una descarga incolora de una fábrica, al hacer contacto con el cuerpo de agua receptor, producirá aguas fuertemente coloreadas que pueden afectar la vida acuática.

El color causado por la materia suspendida se denomina “color APARENTE” y se determina sin filtrar o centrifugar la muestra. Al color causado por partículas coloidales y pseudo-coloidales se le conoce como “color verdadero” y se determinan después que la muestra ha sido filtrada o centrifugada.

Las aguas que tienen coloración debida a sustancias naturales en descomposición, no son consideradas tóxicas o perjudiciales, pero como la coloración adquirida es amarillo-pardo, se tiene una aversión natural debido a las comparaciones antiestéticas que se les asocian. Se recomienda que el agua potable no exceda 15 a 20 unidades en la ESCALA PLATINOCOBALTO (Pt-Co).

Las aguas coloreadas por los desechos industriales son resistentes al ataque biológico. Los procesos biológicos pueden acentuar el nivel de color en el tratamiento, por lo tanto, se prefieren los procesos de tratamiento fisicoquímicos para la remoción de color; aunque no existe ningún método económico para la decoloración. Cada tipo de descarga debe resolverse conociendo el tipo de fábrica de donde proviene, los colorantes y

compuestos utilizados, la composición del mismo desecho, la región donde se efectúa la descarga y las características del cuerpo receptor.

## **2.6. RELACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD**

Se considera que el valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. La relación entre la  $DBO_5$  y la DQO nos da una idea del nivel de contaminación de las aguas. ( $DBO_5/DQO$ )

- Si la relación ( $DBO_5/DQO$ )  $<0,2$  entonces hablamos de unos vertidos de naturaleza industrial, poco biodegradables y son convenientes los tratamientos físico-químicos.
- Si la relación ( $DBO_5/DQO$ )  $>0,5$  entonces hablamos de unos vertidos de naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables, conforme esa relación sea mayor. Estas aguas residuales, puede ser tratadas mediante tratamientos biológicos.

## **2.7. PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES DE INDUSTRIAS TEXTILES**

El uso intensivo del agua para la limpieza de la materia prima y muchos pasos de lavados durante toda la producción. Producido aguas residuales tiene que ser limpiado de grasa, color y otros. El proceso de limpieza es en función de la clase de agua residual y la cantidad de agua utilizada. El agua residual de la industria textil tiene una gran variación en su composición. Además de colorantes, el agua residual textil contiene tensioactivos, ácidos, álcalis, aceites minerales y metales pesados. Estos pueden estar presentes en forma disuelta forma, medio-disuelto o no disuelto. Si el agua residual está

presente en una fuerte medio ácido o alcalino, que debe ser neutralizado. Esto puede ocurrir a través de un cambio en el valor de pH.

### **2.7.1. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES**

Durante la producción de textiles se emplean miles de sustancias, tales como disolventes, resina sintética, lejía de sosa y agentes blanqueadores. Durante la fase de lavado, necesaria con frecuencia tras la finalización de determinadas etapas del tratamiento, es imposible eliminar por completo la presencia de las materias primas empleadas en el agua residual. La tarea de limpieza resulta, por lo tanto, muy exigente. Para cada fábrica se debe diseñar una planta, especialmente proyectada para el proceso de producción en cuestión. En función de la cantidad de agua residual y del tipo de contaminación que ésta presente, será necesaria la aplicación de distintas clases de tratamientos.

#### **2.7.1.1. MEZCLADOR**

Estos pueden venir con flotadores sobre la superficie u opciones de montaje fijo. Los mezcladores funcionan en entornos corrosivos sin caja de cambios y bajo consumo de energía en tanques de aireación, óvalos de oxidación, digestores, lagunas, tanques anóxicos y tanques de mezcla química.



*Figura 6. Mezclador de aguas industriales*

*Fuente: <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-textil/>*

### **2.7.1.2. AIREACIÓN**

Estos equipos de aireación operan en una amplia gama de mercados en todo el mundo ya que están contruidos para las condiciones más duras y están diseñados para durar.



*Figura 7. Aireación para aguas industriales*

*Fuente: <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-textil/>*

### **2.7.1.3. FILTRO PERCOLADOR**

El filtro percolador optimiza el rendimiento de los filtros de goteo. Consiste en un motor de accionamiento, un controlador lógico programable (PLC) y un programa flexible de variación de velocidad diseñado para plantas de tratamiento individuales. Si la energía de la unidad se corta o es interrumpida, el motor desconecta el engranaje, permitiendo que la unidad gire hidráulicamente hasta que se restablezca la energía.



*Figura 8. Filtro percolador*

*Fuente: <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-textil/>*

#### **2.7.1.4. SISTEMA DE FLOTACION POR AIRE DISUELTO (DAF)**

Los sistemas de Flotación por Aire Disuelto (DAF) son unidades de diseño robusto que separan materiales no disueltos como sólidos suspendidos, aceites, grasas y partículas floculadas y coaguladas del agua residual.



*Figura 9. Sistema de flotación por aire disuelto*

*Fuente: <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-textil/>*

#### **2.7.1.5. FILTRACION**

Este proceso es muy usado para el tratamiento de aguas residuales, El filtro biológico llamado también percolador no es un proceso diseñado para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un medio de soporte fijo. Tiene como objetivo remover sólidos, material no sedimentable, turbiedad, fósforo, DBO, DQO, metales pesados, virus; es decir, para asegurar una calidad superior del efluente que proviene de aguas residuales domésticas o industriales.

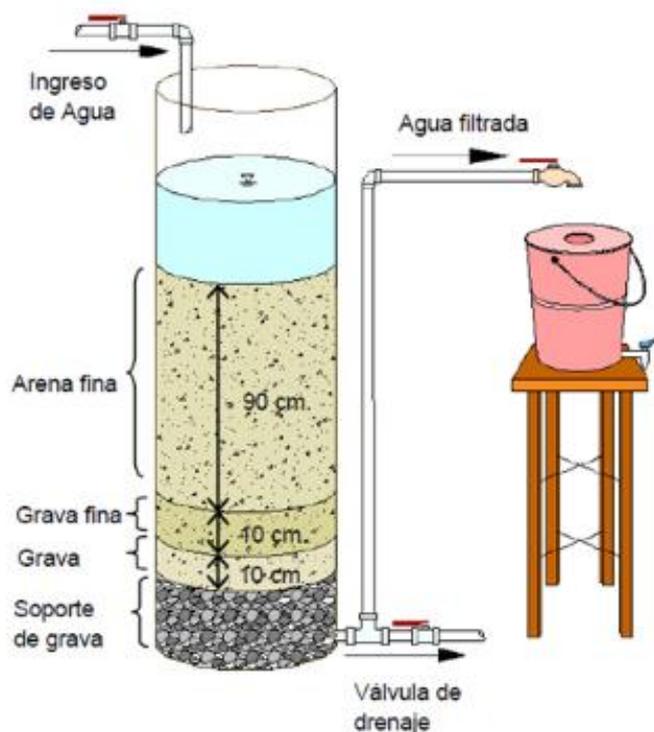


Figura 10. Proceso de tratamiento de aguas residuales mediante el uso de un filtro

Fuente: <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-textil/>

## 2.8. ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El proceso de tratamiento de aguas residuales debe cumplir con una o varias etapas de las que se detallan en la siguiente tabla:

### 1. TRATAMIENTO PRELIMINAR

Se refiere a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones, el funcionamiento de las obras de tratamiento y eliminar o reducir sensiblemente las condiciones indeseables relacionadas principalmente con la apariencia estética de las plantas de tratamiento.

Tabla 3. Objetivos de los procesos de pre tratamiento

| PROCESO         | OBJETIVO   |
|-----------------|--|
| Rejas o tamices | Eliminación de sólidos gruesos                               |
| Trituradores    | Desmenuzamiento de sólidos                                   |
| Desarenadores   | Eliminación de arenas y gravilla                             |
| Desengrasadores | Eliminación de aceites y grasas                              |
| Preaeración     | Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico |

## 2. TRATAMIENTO PRIMARIO

Su objetivo principal es la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. El tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia que incomoda, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos.

**Entre los tipos de tratamiento primario se citan:**

- Sedimentación primaria.
- Flotación.
- Precipitación química.
- Filtros gruesos.
- Oxidación química.
- Coagulación, floculación, sedimentación y filtración.

## 3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Es aquel proceso que reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son

los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y aeradas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia remocional de la DBO entre el 85% al 95%, y están compuestos por:

**(a) Filtración biológica:**

- Baja capacidad (filtros clásicos).
- Alta capacidad: Filtros comunes. Biofiltros. Aero-filtros. Accelo-filtros.

**(b) Lodos activados:**

- Convencional.
- Alta capacidad.
- Contacto estabilización.
- Aeración prolongada.

**(c) Lagunas:**

- Estabilización: Aerobia. Facultativa. Maduración.
- Aerada: Mezcla completa. Aerada facultativa. Facultativa con aeración mecánica. Difusión de aire.

**(d) Otros:**

- Anaeróbicos: Contacto. Filtro anaerobio. Reactor anaeróbico de flujo ascendente.
- Oxígeno puro: Unox / linde.
- Discos rotatorios.

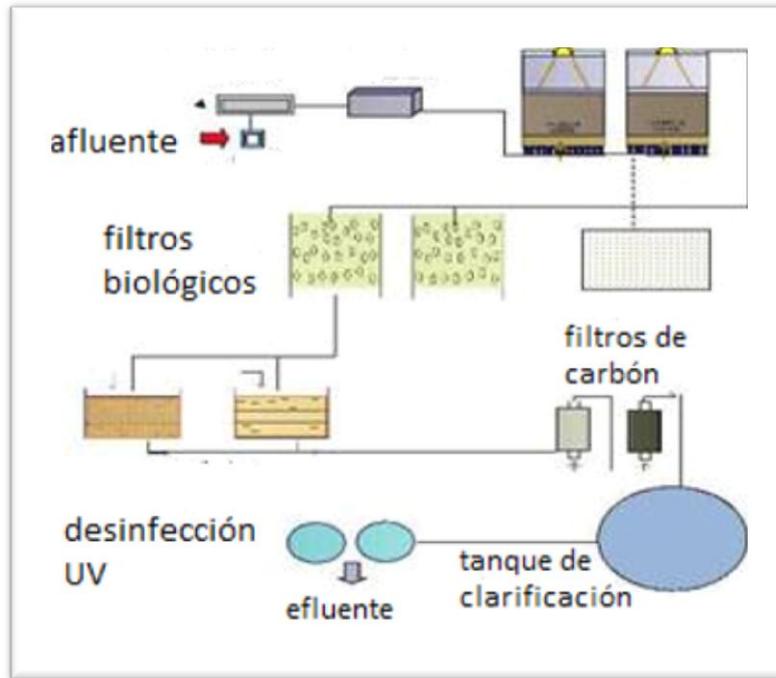


Figura 11. Etapas planta de tratamiento

<http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-textil/>

## 2.9. TIPOS DE FILTROS

Los filtros se clasifican en forma general en filtros de gravedad o filtros lentos y filtros a presión o filtros rápidos.

**Filtros lentos o de gravedad:** Se lo llama filtro lento aquel que tiene un lecho de grava y arena y el agua fluye a través de este lecho por el solo efecto o acción de la gravedad y por tal motivo se les conoce también como filtros de gravedad. La velocidad de filtración en este tipo de filtros es muy lenta, por lo que se requiere de una gran área o superficie de filtración para un flujo determinado.

**Filtro rápido o filtro a presión:** Se puede decir que es similar a un filtro de gravedad en lo referente al empleo de diferentes capas de grava y arena, disponiendo la arena fina en la parte superior del filtro y la grava más gruesa en la parte inferior del mismo. También, el flujo de agua es descendente y se distribuye desde la parte superior del filtro, y el efluente o agua filtrada es colectada en un arreglo de tuberías o colectores en el fondo del filtro. Su diferencia es que en el filtro lento el agua fluye por gravedad y en un filtro rápido el agua es forzada a fluir a través de las diferentes capas de material filtrante por presión de una bomba.

En este tipo de filtro se pueden manejar relaciones Q/A de entre 80 y 120 LPM/mt<sup>2</sup>, lo cual significa que con un área de filtración muy reducida (comparada con la de un filtro lento) se pueden manejar grandes volúmenes de agua.

## **2.10. ARENA VOLCÁNICA**

Se dice que las rocas emanadas de volcanes, al ser expuestas al calor intenso de los mismos, se expanden hasta derretirse y hervir, convirtiéndose en espuma y sacando así sus impurezas químicas orgánicas. Durante la erupción de un volcán esta masa derretida se enfría rápidamente, formando millones de celdas miniaturas de aire dentro de la roca, así se forma la piedra volcánica.

La Puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica, que proviene de la población de Puzzuoli (Italia), en las faldas del Vesubio. Según la ASTM la puzolana es el material silíceo que no siendo aglomerante por sí mismo o en muy baja magnitud contiene elementos que se combinan con la cal en presencia del agua, a temperaturas ordinarias, formando compuestos de escasa solubilidad que presentan propiedades aglomerantes.

### **2.10.1. ARENA VOLCÁNICA NATURAL**

Proviene de erupciones volcánicas. El material de las erupciones volcánicas, compuesto principalmente de aluminosilicatos, es enfriado bruscamente, lo cual resulta en la formación de materiales con estructura desordenada o vítrea con minerales pobremente cristalinos. Entre algunos tipos de puzolanas naturales, encontramos: las cenizas volcánicas, piedra pómez, tobas y obsidiana.

La piedra pómez también es conocida como pumita o pumicita. Es materia prima mineral de origen volcánico, en su composición intervienen mayoritariamente la sílice y la alúmina. Es una roca con alta porosidad, ligera, friable, eficaz aislante térmico y con propiedades puzolánicas. Es considerada una puzolana natural de bajo costo, la piedra pómez es un ingrediente importante en la elaboración del cemento Portland, aumentando su durabilidad química (resistencia frente al ataque por las aguas puras, carbónicas, agresivas o ligeramente ácidas). Aparte de este uso industrial, se emplea piedra pómez en la fabricación de filtros, abrasivos y en usos agrícolas.

## 2.10.2. PROPIEDADES DE LA ARENA VOLCÁNICA

Las propiedades de la arena volcánica dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefieren puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.

**Su densidad:** varía entre 0,5 y 2 gr/cm<sup>3</sup>, se analizaron las muestras de ceniza de la emisión del volcán Tungurahua del 5 de Octubre de 1999, arrojando un valor que se lo toma como su densidad de 1,6 gr/cm<sup>3</sup>.

**Textura:** La clasificación de la textura de estas muestras que va desde arenoso, franco arenoso a franco arenoso limoso. Buena aireación y baja cohesión.

**Humedad:** Las muestras de ceniza volcánica tienen porcentajes bajos de humedad comparado con los suelos

### PROPIEDADES FÍSICAS

*Tabla 4. Propiedades físicas de la arena volcánica*

|                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| PH                      | 7                     |
| Punto de fusión         | 800-900 °C            |
| Punto de inflamabilidad | No inflamable         |
| Aspecto físico          | Sólido                |
| Forma                   | Granulado o en Rocas  |
| Colores                 | Rojizo-Rosado o Negro |
| Olor                    | Inodora               |
| Solubilidad en agua     | Insoluble             |

## PROPIEDADES QUÍMICAS

Tabla 5. Propiedades químicas de la arena volcánica

| Elemento  | % Sobre la masa total |
|---|-----------------------|
| Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> )              | 65%                   |
| Oxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 14%                   |
| Óxidos de calcio (CaO)                              | 5%                    |
| Óxidos férrico (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )    | 4%                    |
| Óxidos de potasio (K <sub>2</sub> O)                | 3%                    |
| Otros óxidos (**)                                   | 9%                    |

### 2.10.3. USOS DE LA ARENA VOLCÁNICA

#### USOS COMO ADITIVO AL CEMENTO

Se pueden dar múltiples usos a la Puzolana, entre todos ellos destaca la fabricación de cemento Portland Puzolánico. El cemento Pórtland puede contener hasta un 35% de Puzolana, y hasta un 55% si es cemento Puzolánico.

#### OTROS USOS

La arena volcánica de origen natural no solo se emplea por sus propiedades como aditivo al cemento, sino como ornamento de parques y jardines. Además de los ya señalados como aditivo para el cemento, existen otras aplicaciones de interés para este material calibrado.

**Fabricación de Hormigones de baja densidad** (como ya se ha señalado en el caso del Panteón de Roma).

**Drenaje natural** en campos de fútbol e instalaciones deportivas.

**Filtro natural** de líquidos por su elevada porosidad.

**Absorbente** (en el caso del agua del 20 al 30 % del peso de árido seco) y preparación de tierras volcánicas olorosas.

## **Aislante Térmico**

**Sustrato inerte y aireante** para cultivos hidropónicos.

**Jardinería** En numerosas rotondas, jardines. Sustituto eficaz del césped en zona con carencia de agua de riego.

**Arqueología** Protector de restos arqueológicos de baja densidad para conservación por construcción sobre ellos o con carácter temporal.



*Figura 12. Empleo de Puzolana para protección de restos arqueológicos en las obras de restauración del Teatro Romano de Cartagena.*

### **2.10.4. POROSIDAD DE LA ARENA VOLCÁNICA**

Cada roca volcánica presenta un nivel de porosidad distinto y por lo general éste puede variar dependiendo de muchos factores. La porosidad de una roca volcánica es el resultado del volumen de poros o el espacio vacío de la misma. Podemos decir que las rocas consideradas muy porosas no necesariamente tienen que ser altamente permeables, debido a que los poros no pueden conectarse entre sí para permitir el flujo del líquido o del gas. Lo que va a determinar la porosidad de una roca volcánica es básicamente el método de su formación y lógicamente la alteración posterior en el tiempo. Entre las rocas volcánicas con mayor porosidad se encuentra la piedra pómez, una roca ígnea de color calor la cual se forma cuando la lava se solidifica. El proceso de formación de poros es bastante interesante y ocurre cuando la lava logra salir a la

superficie y se enfría rápidamente, eso hace que las burbujas de gas caliente queden como poros en las rocas volcánicas.



*Figura 13. Roca Volcánica Porosa*

<http://hablemosdevolcanes.com/c-generalidades/roca-volcanica/>

## **2.11. CARACTERIZACION DE LA ARENA VOLCÁNICA**

La microsonda electrónica es básicamente un microscopio electrónico de barrido diseñado y optimizado que permite determinar la composición química de una sustancia sólida, en áreas muy pequeñas (a escala micrométrica).

El sistema automatizado para el microanálisis de rayos-X, el cual corre en ambiente Windows, tiene las siguientes características: (1) automatización computarizada completamente interactiva que incluye haz de electrones, detectores, platina y automatización de la columna; (2) adquisición de imágenes computarizadas con análisis de imágenes y análisis de fases multi-elementales; (3) mapas de rayos-X WDS y EDS, barridos lineales, y adquisición de mapas WDS y EDS; el procesador de pulso digital suministra el filtro óptimo para obtener la mejor señal. Límites de detección mínimos mejorados. Matriz mejorada extendida a correcciones ZAF y Bence & Albee (1968).

Especificaciones técnicas de la serie JEOL JXA8800/8900 “Superprobe”:

- Rango de detección de elementos: 5Be-92U
- Rango de detección de longitud de onda: 0.087-9.3 nm
- Número de espectrómetros de rayos-X: 5 WDS y 1 EDS
- Tamaño máximo de la muestra: 150mm x 150mm x 50mm
- Recorrido de la platina X,Y: 90mm x 90mm
- Velocidad de la platina (máxima): 15 mm/s
- Voltaje de aceleración: 0.2-40 keV, 15 keV para análisis elemental
- Corriente de prueba: 10-12-10-5 Å
- Estabilidad de la corriente de prueba: 1x10<sup>3</sup>/h
- BEI (imagen de electrones retrodispersados): TOPO y COMPO
- Magnificación: 40x - 300.000x

Con el microscopio electrónico de barrido (SEM) se obtiene imágenes que dan información superficial de la muestra que se está analizando. Usando el programa *imagej* se puede tratar y hacer un estudio morfológico del material.

Las imágenes magnificadas de muestras obtenidas con el SEM tienen una alta resolución y además debido a la técnica que utiliza para formar la imagen, le dan a la imagen una apariencia tridimensional. Estas dos características de las imágenes obtenidas con el SEM posibilitan un análisis morfológico de la muestra con solo observar la imagen que se obtiene. En un análisis morfológico la mayoría de resultados que se obtienen son una descripción cualitativa de la muestra, pero a pesar de esto para cierto tipo de estudios es suficiente.

## **SEM**

El microscopio electrónico de barrido permite las siguientes aplicaciones:

### **1. Observación a altos aumentos.**

La resolución de imagen conseguida por un microscopio electrónico de barrido es muy superior a la que se puede obtener mediante un microscopio óptico,

ya que se utilizan electrones (de mucha menor longitud de onda) en lugar de luz para formar la imagen.

## 2. Estudios fractográficos

Gracias a la profundidad de campo que se consigue con este tipo de microscopios es posible la observación de superficies de fractura a altos aumentos.

## 3. Realización de análisis químicos en pequeñas áreas:

Fases intermetálicas, precipitados, partículas contaminantes, etc.

## Imágenes electronicas tomadas con el microscopio electronico

### 1.- Muestra pictórica observada con un Microscopio Electrónico de Barrido

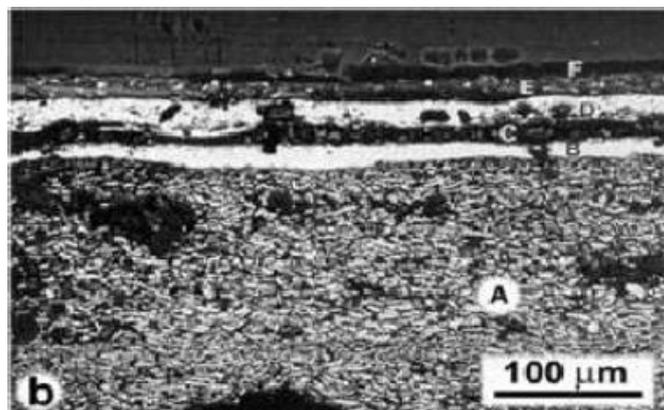


Figura 14. Muestra pictórica observada con un Microscopio Electrónico de Barrido

### 2.- Morfología de la superficie del Silicio



Figura 15. Morfología de la superficie del silicio

### 3.- Morfología de un depósito de Molibdeno-Cadmio-Telurio.

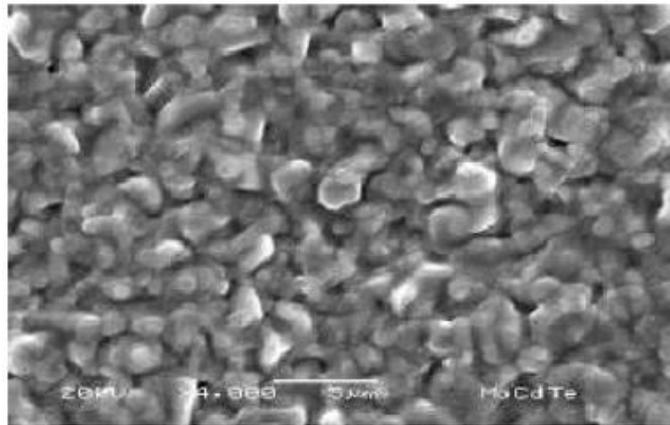


Figura 16. Morfología de un depósito de Molibdeno-Cadmio-Telurio.

#### 2.12. HIPÓTESIS

##### HIPÓTESIS NULA

La biofiltración con arena volcánica **no** ayuda a disminuir los contaminantes que se encuentran en el agua residual proveniente de la lavadora RAM Jeans.

##### HIPÓTESIS ALTERNATIVA

La biofiltración con arena volcánica ayuda a disminuir los contaminantes que se encuentran en el agua residual proveniente de la lavadora RAM Jeans.

#### 2.13. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

##### VARIABLE INDEPENDIENTE

La biofiltración con de arena volcánica.

##### VARIABLE DEPENDIENTE

Disminución de los contaminantes que se encuentran en el agua residual proveniente de la lavadora RAM Jeans.

# CAPITULO III

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. NIVELES Y TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de tesis es una investigación de nivel descriptivo que se realizó utilizando dos tipos de investigación, la investigación de campo y experimental indispensables para obtener los objetivos específicos planteados los cuales nos permiten obtener el objetivo general propuesto.

### 3.2. POBLACION Y MUESTRA

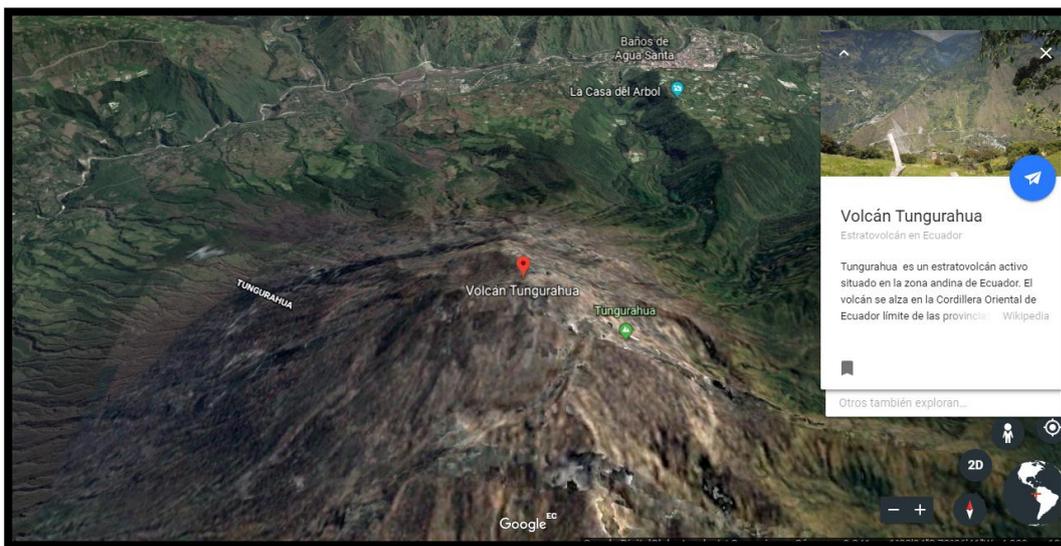
El presente estudio se realizó en la lavadora RAM jeans del Cantón Pelileo Provincia de Tungurahua, que se encuentra ubicada en el sector urbano del Cantón, diagonal al Hospital Básico de Pelileo con la siguiente ubicación geográfica  $1^{\circ} 20' 01''$  S –  $78^{\circ} 32' 27''$  W a una altura de 2617 m como se puede observar en la Figura 17. La lavadora RAM Jeans cuenta con una infraestructura bien distribuida y su área de trabajo está totalmente equipada con la maquinaria necesaria para el lavado de prendas textiles.



Figura 17. Mapa de la ubicación de la lavadora RAM Jeans realizada en Google Earth.

El material filtrante probado es la arena volcánica utilizada en el ensayo para la obtención de la permeabilidad y reducción de los parámetros fisicoquímicos del agua residual proveniente la lavadora RAM Jeans.

La arena fue extraída de las partes bajas del volcán Tungurahua en el sector de Bilbao Bajo con la siguiente ubicación geográfica  $1^{\circ} 28' 05''$  S –  $78^{\circ} 26' 41''$  W a una altura de 4902 (Figura 18), la misma que fue extraída del suelo con palas y se la ubico en un saco de yute para luego ser transportada hasta el Laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.



*Figura 18. Mapa de la ubicación del volcán Tungurahua obtenida de Google earth*

El volcán Tungurahua que tiene una forma cónica con una elevación de 5023 metros, está ubicado a 33 km al sureste de Ambato y es uno de los volcanes ecuatorianos más activos. La actividad más fuerte fue registrada en agosto del 2006, alcanzo una columna de altura mayor a 8 Km, nubes de ceniza de 30 Km de altura que cubrieron un diámetro de 280 Km. Se expulsaron más de 50 millones de metros cúbicos de material volcánico. La densidad de la ceniza, según los vulcanólogos, varía entre los 0,5 y 2 gramos por centímetro cúbico; es decir, un centímetro de espesor puede ejercer un peso de 20 kilogramos en cada metro cuadrado de acumulación de este material.

### 3.3. OPERAZIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

La Biofiltración con arena volcánica.

*Tabla 6. Operacionalización de la variable independiente*

| <b>Contextualización</b>   | <b>Dimensiones</b>          | <b>Indicadores</b>   | <b>Ítems</b>   | <b>Técnicas e instrumentos</b>                     |
|--|-----------------------------|--|--|--|
| La arena volcánica tiene por objeto filtrar las aguas que provienen de actividades de lavado de Jeans. | Tamaño                      | Granulometría  | Tamaños de partículas<br><br>Porcentajes en cada tamiz                     | Tamices de Análisis de laboratorio                 |
|  | Forma y composición química | Imágenes morfológicas<br>Y<br>Espectro de elementos químicos | Formas de las partículas<br><br>Superficie<br><br>Porcentajes de elementos | Microscopio electrónico:<br>University of Calabria |

#### 3.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Disminución de los contaminantes que se encuentran en el agua residual proveniente de la lavadora RAM Jeans.

Tabla 7. Operacionalización de la variable dependiente

| Contextualización   | Dimensiones            | Indicadores                          | Ítems  | Técnicas e instrumentos                       |
|---|------------------------|--------------------------------------|--|---|
| Reducción de parámetros contaminantes de las aguas residuales | Análisis fisicoquímico | Unidades de color<br>Concentraciones | Concentración inicial<br>Concentración final | Fotómetro HANNA                               |
|   | Permeabilidad          | Constante de permeabilidad           |  | Permeámetro de carga constante de laboratorio |

### 3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 8. Recolección de información

| Preguntas                            | Explicación   |
|--------------------------------------|---|
| ¿Qué hay que evaluar?                | La eficiencia de la arena volcánica como filtro   |
| ¿De qué hay que evaluar?             | Del agua residual provenientes de las lavadoras de jeans  |
| ¿Sobre qué aspectos hay que evaluar? | Los parámetros fisicoquímicos establecidos en el TULSMA antes de ser evacuados  |
| ¿Quién?                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lucia Anabel Malusin Ramos</li> <li>• Ing. Geovanny Paredes</li> <li>• PhD. Diana Carolina Coello Fiallos</li> <li>• Ing. Verónica Merino</li> </ul> |

|           |  |
|-----------|--|
| ¿Cómo?    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocer la infraestructura y funcionamiento básico de la lavadora RAM JEANS.</li> <li>• Determinar el comportamiento de los caudales.</li> <li>• Monitorear (DBO<sub>5</sub>, DQO) y color de las aguas residuales provenientes de la lavadora de jeans su origen y luego del proceso de filtración.</li> </ul> |
| ¿Con qué? | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fotometro HANNA</li> <li>• Permeámetro de carga constante</li> <li>• Electronic Microprobe Analyzer (EMPA) JOEL</li> </ul>  |
| ¿Dónde?   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica – UTA</li> <li>• En la lavadora indicada</li> </ul>   |

### **3.5. INFRAESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA LAVADORA RAM JEANS**

Se analiza la infraestructura de la lavadora mediante la observación llegando al lugar de su ubicación y también mediante el plano arquitectónico en el cual podemos observar las dimensiones que tiene la lavadora y así determinar el área de trabajo siendo la misma de 1200m<sup>2</sup>. También se puede observar que los sitios de trabajo están bien distribuidos y acoplados de acuerdo a cada función que cumplen cada uno de ellos de la misma manera la lavadora de jeans se encuentra bien equipada con sus respectivas maquinarias para cada proceso .

Mediante una investigación de campo en la lavadora RAM Jeans se determina el caudal diario que se utiliza en el lavado de prendas jeans, para esto se toman los datos del volumen de cada proceso de teñido de la industria durante 5 días de la semana (de lunes a viernes), la fábrica empieza a laborar a partir de las 8h00 am. y cierran a las 18h00 pm.

Una vez terminado los diferentes procesos de lavado en su respectivo tiempo se abren las llaves de los bombos para que el agua salga; estos volúmenes de agua son conducidos hacia una canal donde se junta el agua de todas las máquinas que se utilizan diariamente, para ser conducidas hasta el tanque de la planta de tratamiento.



*Figura 19. Canales para aguas residuales provenientes de las máquinas y canal hacia tanque de tratamiento.*

### **3.6. CARACTERIZACION DE LA ARENA VOLCÁNICA**

Para conocer las propiedades y características de la arena volcánica se realiza los siguientes análisis:

- Granulometría
- Permeabilidad
- Morfología
- Composición

#### **3.6.1. GRANULOMETRIA**

Pasos para el ensayo de Granulometría en el Laboratorio

1. Se selecciona una muestra la más representativa

2. Ensayamos en el laboratorio de suelos una muestra de arena volcánica tomando como base un peso de 3000 gr

$$W_{\text{arena volcánica}} = 3000 \text{ gr}$$

3. Después la muestra pesada se hace pasar por una serie de tamices o mallas, para agregado fino se utiliza los siguientes tamices (# 4, # 10, # 40, # 100 #200 y Fondo).

*Tabla 9. Medida de los tamices usados*

| # Tamices ASTM | mm    |
|----------------|-------|
| N. 4           | 5     |
| N.10           | 2.0   |
| N.40           | 0.420 |
| N.100          | 0.160 |
| N.200          | 0.080 |

4. Ubicamos en la tamizadora durante un tiempo de 15 min.



*Figura 20. Tamizadora eléctrica para áridos finos.*

5. La cantidad de muestra retenida en cada uno de los tamices se cuantifica en la balanza obteniendo de esta manera el peso retenido.

6. Las cantidades de arena volcánica que se utilizan para el ensayo son las que pasan el tamiz No. 10 y retiene tamiz No.40.

### **3.6.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y QUÍMICA**

Para esta caracterización las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Calabria (Italia) para estudiar la arena volcánica en el Electronic Microprobe Analyzer (EMPA) JOEL (Analizador de Microsonda Electrónica) en modalidad COMPO con una energía de 15.0 KeV a diferentes aumentos.

Los ensayos efectuados consisten en la observación al microscopio complementado por un microanalizador por dispersión de energía (EDS), centrado partes puntuales de la muestra. El objetivo perseguido es discriminar e identificar la composición de la muestra y la observación-micro que se distinguen por su forma y tamaño.

### **3.7. CONSTANTE DE PERMEABILIDAD**

MONTAJE DEL EXPERIMENTO:

- 1.- Con ayuda del calibrador obtenemos el diámetro interior del permeámetro (Di permeámetro).
- 2.- Armamos el permeámetro, ponemos en el fondo una piedra porosa como base.
- 3.-Colocamos con una cuchara la muestra pesada de arena volcánica en el permeámetro y damos veinte y cinco golpes con el martillo.
- 4.-Continuamos poniendo más arena volcánica y volvemos a dar veinte y cinco golpes con el martillo, ubicamos encima de esta muestra la otra piedra porosa para luego terminar con el armado del permeámetro y proceder con el ensayo.
- 5.-Con el flexómetro tomamos la altura de la muestra (h), longitud de la muestra (L).
- 6.-En las probetas medimos el volumen (350 ml de agua residual) que va a saturar a la muestra (V).

7.- Abrimos las llaves para que el agua residual sature la muestra de arena volcánica.

### **PRUEBA DE PERMEABILIDAD:**

1. Una vez saturada la muestra procedemos a poner agua residual en el cono del permeámetro, abrimos las llaves de entrada y salida para tener un paso constante de agua residual.
2. Luego tomamos el tiempo de prueba con el cronometro para 25 ml de agua residual (tomamos 10 tiempos y sacamos un tiempo promedio).
3. Con los datos obtenidos calculamos el área transversal de la muestra

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

A es área transversal de la muestra.

D diámetro interior del permeámetro.

4. Determinamos el Coeficiente de Permeabilidad mediante la ecuación:

$$K = \frac{V * L}{A * t * h}$$

Donde:

**K** coeficiente de permeabilidad (cm/s).

**V** volumen medio de agua residual (cm<sup>3</sup>).

**L** longitud de la muestra (cm).

**A** área transversal de la muestra (cm<sup>2</sup>)

**t** tiempo de prueba (seg)

**h** altura carga hidráulica (cm)

### **3.8. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS EN AGUAS RESIDUALES DE LA LAVADORA RAM JEANS**

#### **3.8.1. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES**

El proceso de recolección y conservación de la muestra del agua residual proveniente de la lavadora RAM Jeans se basó en las especificaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169. La recolección de las muestras se lo realizó en botellas de plástico de tres litros, adecuadamente etiquetadas. La botella debe estar llena con su respectiva tapa para que no entre aire, esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte.

El diseño experimental para las pruebas de laboratorio se hace recogiendo muestras de la lavadora según las fechas expuestas en la Tabla 10. Para la transportación diaria de la muestra se lo hizo en una mochila de cargar, es por eso que se utilizó botellas de plástico, hasta su traslado al laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

*Tabla 10. Fechas de recolección de las muestras en las lavadoras.*

| <b>Lavadora RAM Jeans</b> | <b>Día de recolección</b>      |
|---------------------------|--------------------------------|
| Primer día                | Martes 24 de julio del 2018    |
| Segundo día               | Miércoles 25 de julio del 2018 |
| Tercer día                | Jueves 26 de julio del 2018    |
| Cuarto día                | Viernes 27 de julio del 2018   |
| Quinto día                | Lunes 30 de julio del 2018     |

#### **3.8.2. DEMANDA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

La determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) se basa en la guía 5220D *Standard methods for the examination of water and wastewater de la American Public Health Association*, para la realización de estas pruebas experimentales se utilizaron los

equipos de la marca HANNA INSTRUMENT e instrumentos y materiales del Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Los equipos usados fueron un fotómetro HI83099 COD Multiparameter Fotometer (Figura 21a) y un digestor HI839800 COD Reactor (Figura 21c), también se usó el reactivo HI93754C-0 (Figura 21b), agua destilada, una gradilla, pipetas y equipo de protección.

Para realizar las pruebas primero fue necesario calentar el digestor a una temperatura de 150°C, luego para preparar la muestra de rango medio se colocó con la pipeta 2 ml de la muestra de agua residual en el vial que contiene el reactivo después para preparar el blanco (muestra para encerrar) se colocó con la pipeta 2 ml de agua destilada en el vial con reactivo, para las dos muestras se colocó con un ángulo de 45 grados debido a que la reacción es exotérmica, agitándolo cinco veces invirtiéndolo totalmente, seguidamente se ingresó la muestra en el digestor por un lapso de 2 horas, una vez finalizado el tiempo se retiró los reactivos y se agitó con el fin de homogenizar la muestra y se dejó enfriar en la gradilla hasta que estén a temperatura ambiente, para la lectura de los datos, con ayuda del fotómetro se configuró para rango medio y se colocó primero el vial con la muestra blanco para encerrar y luego al vial con agua residual (filtrada y sin filtrar) para conocer la concentración de DQO presente en las muestras de aguas residuales .



(a)



(b)



(c)

Figura 21. Equipos y reactivo HANNA INSTRUMENT. (a) Fotómetro (b) Reactivo (c) Digestor

### 3.8.3. COLOR

Para la determinación de las pruebas experimentales de COLOR de las aguas residuales se utilizaron los equipos de la marca HANNA INSTRUMENT e instrumentos y materiales del Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Los equipos usados fueron un fotómetro HI83099 COD Multiparameter Fotometer (Figura 22), agua destilada, frasco 10 ml, equipo de protección.

Para realizar la prueba primero lavamos el tubo 3 veces con agua destilada antes de utilizar, luego ponemos 10 ml/ de agua destilada en el frasco para encerrar el fotómetro, ponemos agua filtrada en el tubo de 10 ml y procedemos a tomar el valor de color el mismo que excede el rango de PCU (unidad color platino). Cuando excede los 500 PCU se realiza una disolución la misma que se trata en poner 1 ml AR (agua residual) = 10 ml AD (agua destilada). Realizamos esta mezcla agitamos y procedemos a tomar nuevamente los valores de Color.



Figura 22. Fotómetro HANNA para determinar color

# CAPITULO IV

## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA LAVADORA RAM JEANS

En la investigación de campo realizada a la lavadora RAM Jeans se observó las características del lugar, personal, nivel de seguridad, productos utilizados. Algunas características importantes que influyen en el consumo de agua y generación de aguas residual.

La lavadora RAM jeans cuenta con un área de terreno de 2150 m<sup>2</sup>, consta con un piso de Hormigón Impermeable donde se encuentran adecuadamente distribuidos los procesos de lavado, tinturado y manualidades; bodega de químicos y bodegas para almacenar temporalmente las prendas terminadas. Además, consta de un estacionamiento, zona de carga y descarga, instalación eléctrica trifásica, y un sistema de tratamiento de agua residual.

La industria “RAM Jeans”, para todos los procesos de lavado y tinturado utiliza agua de regadío del canal El Porvenir, para garantizar la disponibilidad del agua, esta es almacenada en un tanque tipo cisterna y con la ayuda de una bomba de 2 HP (horsepower) se la distribuye a las máquinas que realizan los diferentes procesos.

La lavadora RAM Jeans tiene un volumen de producción mensual aproximado de 60000 prendas de vestir. Las operaciones que desarrolla la lavadora RAM Jeans son diarias con un horario operacional de 08H00 a 18H00, de lunes a viernes. El número de días por año de operación son de 240 días. El número de trabajadores que laboran en la empresa son dieciséis (16) distribuidos de la siguiente manera:

- Una Recepcionista
- Una Secretaria
- Un Técnico

- Una jefa de personal
- Un Bodeguero
- Cuatro maquinistas
- Un Centrifugador
- Un operador para el caldero
- Dos secadores
- Una cocinera
- Dos operadores de manualidades

La lavadora RAM jeans tiene a su disposición la siguiente maquinaria para cumplir con los procesos de lavados y teñidos diariamente:

- Seis secadoras
- diez lavadoras – tinturadoras
- una lavadora de prueba
- dos centrifugadoras
- cuatro globos para esponjar
- tres compresores de aire
- Un caldero de vapor.

#### **4.1.1. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LA LAVADORA RAM JEANS**

##### **Recepción**

Donde se recibe y contabiliza las prendas para el respectivo lavado, estas pueden ser en tela cruda o tela jean.

##### **Pesaje**

El personal procede a pesar las prendas para el lavado.

## **Procesos realizados**

### **Stones**

- a) Desengome. –Para esta actividad se utiliza 350 litros de agua por parada y para su enjuague se utiliza 700 litros de agua, la temperatura debe estar a 60°C y el tiempo de detención es de 15 minutos.
- b) Stone. – se utiliza 200 litros de agua por parada, más 700 litros de agua para el enjuague, la temperatura debe estar a 60°C y el tiempo de detención es de 45 minutos.
- c) Blanqueo. - Se utiliza 350 litros de agua por parada más 1400 litros de agua que se utiliza para el enjuague, la temperatura debe estar a 70°C y el tiempo de detención es de 15 minutos.
- d) Suavizado. - Se utiliza 200 litros de agua por parada, la temperatura debe estar a 40°C y el tiempo de detención es de 5 minutos.

### **Tenidos**

- a) Descrude. – Se utiliza 350 litros de agua por parada y se le agrega 1400 litros más de agua para su enjuague y el tiempo de detención es de 25 minutos.
- b) Teñido. - Se utiliza 350 litros de agua por parada, más 1400 litros de agua para su enjuague, la temperatura debe estar a 70°C y el tiempo de detención es de 50 minutos.
- c) Fijado. - Se utiliza 350 litros de agua por parada y se le agrega 700 litros de agua para su enjuague, la temperatura debe estar a 40°C y el tiempo de detención es de 10 minutos.
- d) Suavizado. - Se utiliza 200 litros de agua por parada, la temperatura debe estar a 40°C y el tiempo de detención es de 5 minutos.

## **Sucios**

- a) Desengome. –Para esta actividad se utiliza 350 litros de agua por parada y para su enjuague se utiliza 700 litros de agua, la temperatura debe estar a 60°C y el tiempo de detención es de 15 minutos.
  
- b) Stone. – Se utiliza 200 litros de agua por parada, más 700 litros de agua para el enjuague, la temperatura debe estar a 60°C y el tiempo de detención es de 45 minutos.
  
- c) Bajado.- Se utiliza 500 litros de agua por parada, más 700 litros de agua para el enjuague y el tiempo de detención es de 10 minutos.
  
- d) Neutralizado. - Se utiliza en 350 litros de agua, más 1400 litros de agua para su enjuague y el tiempo de detención es de 15 minutos.
  
- e) Teñido. - Se utiliza 350 litros de agua por parada, más 1400 litros de agua para su enjuague, la temperatura debe estar a 70°C y el tiempo de detención es de 50 minutos.
  
- f) Fijado. - Se utiliza 350 litros de agua por parada y se le agrega 700 litros de agua para su enjuague, la temperatura debe estar a 40°C y el tiempo de detención es de 10 minutos.
  
- g) Suavizado. - Se utiliza 200 litros de agua por parada, la temperatura debe estar a 40°C y el tiempo de detención es de 5 minutos.

## **Blancos**

- a) Descrude. – Se utiliza 350 litros de agua por parada y se le agrega 1400 litros más de agua para su enjuague y el tiempo de detención es de 25 minutos.
  
- b) Blanqueo. – Se utiliza 350 litros de agua por parada y se le agrega 1400 litros más de agua para su enjuague y el tiempo de detención es de 25 minutos.

## **Industriales Teñidos**

- a) Desengome. –Para esta actividad se utiliza 350 litros de agua por parada y para su enjuague se utiliza 700 litros de agua, la temperatura debe estar a 60°C y el tiempo de detención es de 15 minutos.
  
- b) Teñido. - Se utiliza 350 litros de agua por parada, más 1400 litros de agua para su enjuague, la temperatura debe estar a 70°C y el tiempo de detención es de 30 minutos.
  
- c) Fijado. - Se utiliza 200 litros de agua por parada y se le agrega 1400 litros de agua para su enjuague, la temperatura debe estar a 40°C y el tiempo de detención es de 10 minutos.
  
- d) Suavizado. - Se utiliza 200 litros de agua por parada, la temperatura debe estar a 40°C y el tiempo de detención es de 5 minutos.

## **Focalizado**

Permite condicionar los colores en el tejido ya sea con un tipo de piedra o con químicos que desgasta el color de la tela, pero no desgasta la tela, o sea no la rompe.

## **Centrifugado**

En esta etapa la fuerza centrífuga hace que el agua se desprenda de las prendas dejándoles así semisecas.

## **Secado**

Se realiza a través de secadoras industriales las cuales tienen un tambor el que hace girar las prendas y al mismo tiempo introduce aire caliente.

## **Control de calidad**

Es donde el personal se asegura que las prendas cumplan con los requisitos mínimos de calidad.

## **Despacho**

Es el último paso en el cual se empaca y se entrega las prendas.

En la Figura 23 se muestra el diagrama de funcionamiento de la lavadora RAM Jeans desde la recepción de prendas hasta el despacho de las mismas.

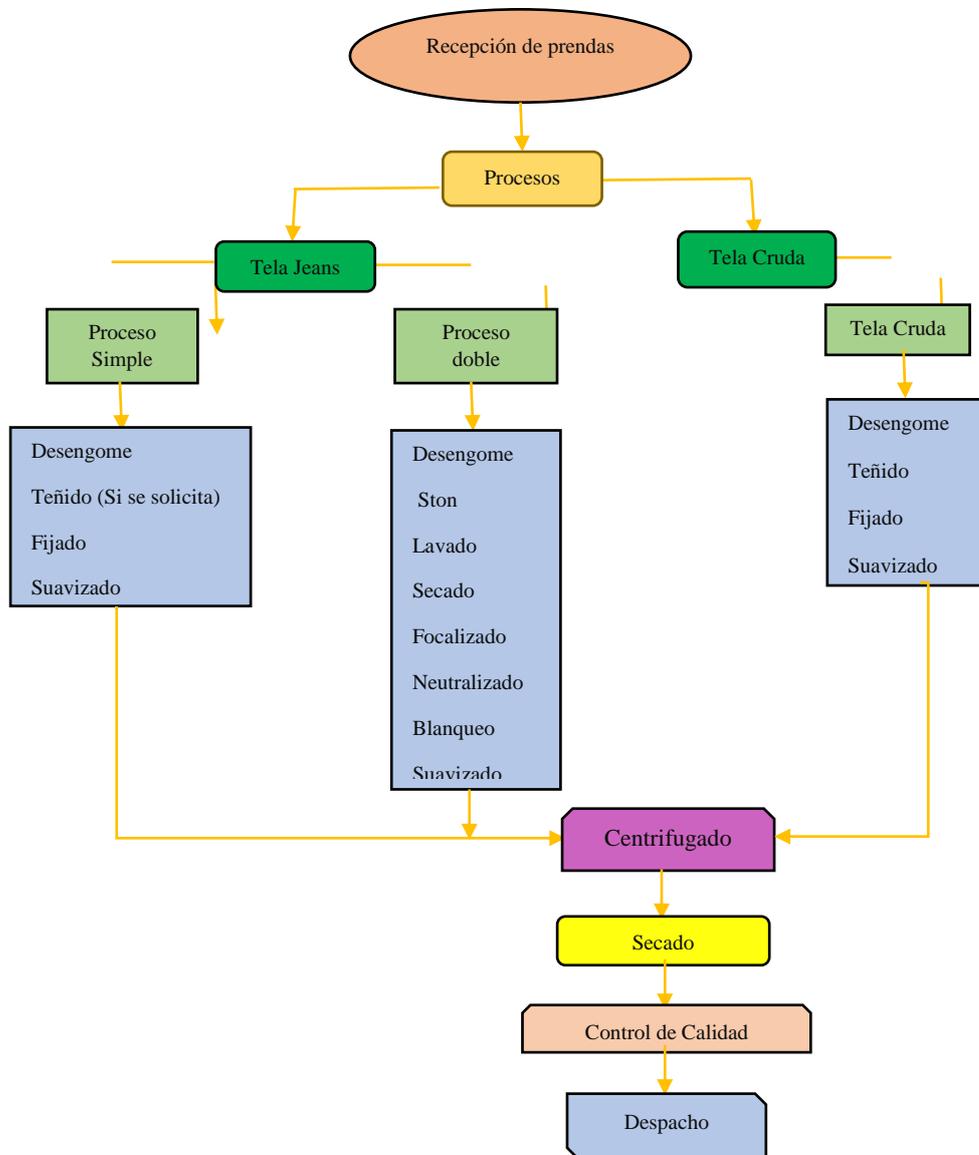


Figura 23. Diagrama del proceso de lavado y entrega de prendas que realiza la lavadora RAM Jeans.

#### 4.1.2. CAUDALES DE ENTRADA Y SALIDA UTILIZADOS EN LA LAVADORA RAM JEANS

Para determinar el caudal medio diario que se utiliza en la lavadora “RAM Jeans” mediante investigación de campo se obtuvo datos sobre el número veces que se realiza

cada proceso los cinco días (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes) de la semana (Tabla 11), y también el volumen establecido por la lavadora RAM Jeans según la maquinaria y la producción para cada proceso como se muestra en la (Tabla 12) para calcular el volumen que usan por proceso cada día (Tabla 13) y así determinar el agua consumida en la semana dentro de la lavadora. Con estos datos podemos proceder a calcular el caudal que se usa en la lavadora.

*Tabla 11. Número de veces que se realiza cada proceso en la semana.*

| <b>Procesos de lavado</b> | <b>Lunes</b> | <b>Martes</b> | <b>Miércoles</b> | <b>Jueves</b> | <b>Viernes</b> |
|---------------------------|--------------|---------------|------------------|---------------|----------------|
| <b>Desengome</b>          | 10           | 14            | 16               | 14            | 10             |
| <b>Ston</b>               | 8            | 12            | 12               | 12            | 8              |
| <b>Neutralizado</b>       | 9            | 10            | 12               | 12            | 8              |
| <b>Blanqueo</b>           | 8            | 9             | 11               | 14            | 7              |
| <b>Teñido</b>             | 7            | 10            | 10               | 10            | 6              |
| <b>Fijado</b>             | 9            | 12            | 12               | 12            | 8              |
| <b>Descrude</b>           | 8            | 10            | 12               | 12            | 10             |
| <b>Bajado</b>             | 10           | 13            | 12               | 14            | 8              |
| <b>Suavizado</b>          | 14           | 14            | 14               | 14            | 12             |

*Tabla 12..Volumen de agua usado por proceso medido en litros (L)*

| <b>Proceso</b>      | <b>Lunes</b> | <b>Martes</b> | <b>Miércoles</b> | <b>Jueves</b> | <b>Viernes</b> |
|---------------------|--------------|---------------|------------------|---------------|----------------|
| <b>Desengome</b>    | 1050         | 1050          | 1050             | 1050          | 1050           |
| <b>Ston</b>         | 900          | 900           | 900              | 900           | 900            |
| <b>Neutralizado</b> | 1750         | 1750          | 1750             | 1750          | 1750           |
| <b>Blanqueo</b>     | 1750         | 1750          | 1750             | 1750          | 1750           |
| <b>Teñido</b>       | 1750         | 1750          | 1750             | 1750          | 1750           |
| <b>Fijado</b>       | 1050         | 1050          | 1050             | 1050          | 1050           |
| <b>Descrude</b>     | 1750         | 1750          | 1750             | 1750          | 1750           |
| <b>Bajado</b>       | 1200         | 1200          | 1200             | 1200          | 1200           |
| <b>Suavizado</b>    | 200          | 200           | 200              | 200           | 200            |

*Tabla 13. Volumen de agua total usado en cada proceso medido en litros (L)*

| <b>Proceso</b>      | <b>Lunes</b> | <b>Martes</b> | <b>Miércoles</b> | <b>Jueves</b> | <b>Viernes</b> |
|---------------------|--------------|---------------|------------------|---------------|----------------|
| <b>Desengome</b>    | 10500        | 14700         | 16800            | 14700         | 10500          |
| <b>Ston</b>         | 7200         | 10800         | 10800            | 10800         | 7200           |
| <b>Neutralizado</b> | 15750        | 17500         | 21000            | 21000         | 14000          |
| <b>Blanqueo</b>     | 14000        | 15750         | 19250            | 24500         | 12250          |
| <b>Teñido</b>       | 12250        | 17500         | 17500            | 17500         | 10500          |
| <b>Fijado</b>       | 9450         | 12600         | 12600            | 12600         | 8400           |

|                         |                |                |                |                |               |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| <b>Descrude</b>         | 14000          | 17500          | 21000          | 21000          | 17500         |
| <b>Bajado</b>           | 12000          | 15600          | 14400          | 16800          | 9600          |
| <b>Suavizado</b>        | 2800           | 2800           | 2800           | 2800           | 2400          |
| <b>Sumatoria</b>        | <b>97,950</b>  | <b>124,750</b> | <b>136,150</b> | <b>141,700</b> | <b>92,350</b> |
| <b>Total (L/semana)</b> | <b>592,900</b> |                |                |                |               |

**Cálculo del caudal de entrada utilizado en una semana laboral.**

$$Q = \frac{\text{volumen (L)}}{\text{tiempo (8h/día)}}$$

$$Q = \frac{592,900 \text{ (L)}}{40 \text{ h}}$$

$$Q = 14,822.5 \text{ L/h}$$

En un día de trabajo de 8 horas se tiene un caudal:

$$Q = 4.12 \text{ L/seg}$$

Para obtener el volumen real de agua residual que descarga la lavadora en lo que respecta al uso de volumen de agua es necesario conocer la cantidad de agua que retiene la prenda de vestir en los diferentes procesos de lavado. Los datos adicionales que se ha tomado corresponden a los pesos promedios de las prendas de vestir:

- Peso del pantalón antes de procesar: 440 gramos.
- Peso del pantalón después de lavado y tinturado: 850 gramos.
- Peso del pantalón después del centrifugado. 650 gramos.
- Peso del pantalón después de secado: 490 gramos.

Con esta información podemos deducir que cada pantalón después del secado retiene **50 gramos entre colorantes, fijantes, entre otros**. A demás que en el secado se evapora 210gr (0.21 lts) de agua en cada pantalón.

En la siguiente tabla se encuentra el balance de agua, que corresponde a la cantidad de agua utilizada en el proceso y al mismo tiempo tomando en cuenta el peso de las prendas después de cada actividad se ha calculado el volumen de agua residual generada que deberá ser tratada.

**Volumen total de agua residual que genera la lavadora RAM jeans.**

*Tabla 14. Volumen de agua residual que genera la lavadora.*

| Día  | Número de prendas procesadas | Volumen de agua utilizada | Cantidad de agua evaporada en el proceso de secado por cada prenda | Volumen de agua evaporada del total de prendas (A*C) | Volumen de agua que sale como efluente (B-D) |
|--|------------------------------|---------------------------|--|--|--|
|  | A                            | B (L)                     | C (L)  | D (L)  | E (L)  |
| Lunes  | 2000                         | 97950                     | 0,21   | 420  | 97530  |
| Martes   | 2300                         | 124750                    | 0,21   | 483  | 124267                                       |
| Miércoles  | 2800                         | 136150                    | 0,21   | 588  | 135562                                       |
| Jueves   | 2800                         | 141700                    | 0,21   | 588  | 141112                                       |
| Viernes  | 2000                         | 92350                     | 0,21   | 420  | 91930  |
| <b>Volumen total de agua residual que genera la lavadora RAM Jeans(L/semana)</b> |                              |                           |  |  | <b>590401</b>                                |

**Cálculo del caudal de salida en una semana laboral.**

Caudal de salida total de agua residual que se genera en el proceso de lavado de jeans en la lavadora RAM Jeans en una semana laboral.

$$Q = \frac{\text{volumen (L)}}{\text{tiempo (8h/día)}}$$

$$Q = \frac{590401(L)}{40 h}$$

$$Q = 14,760 L/h$$

$$Q = 4.10 L/seg$$

## 4.2. PARAMETROS FISICOS, QUIMICOS Y MORFOLOGICOS DE LA ARENA VOLCANICA

### 4.2.1. DETERMINACION DE LA GRANULOMETRIA

En la Tabla 15 se muestran los porcentajes obtenidos mediante el ensayo de granulometría realizado como se explica en punto 3.6.1, y con estos datos se elabora el grafico de granulometría de la figura 24;

Tabla 15. Resultados de la granulometría de la arena volcánica

| Tamiz | diámetro | Peso retenido | Porcentaje que pasa |
|-------|----------|---------------|---------------------|
| #     | mm       | gr            | %                   |
| 4     | 5        | 88,7          | 2,96                |
| 10    | 2.0      | 389,2         | 12,97               |
| 40    | 0.420    | 1504,2        | 50,14               |
| 100   | 0.160    | 849,7         | 28,32               |
| 200   | 0.080    | 394           | 13,13               |
| base  | < 0.080  | 76,7          | 2,56                |

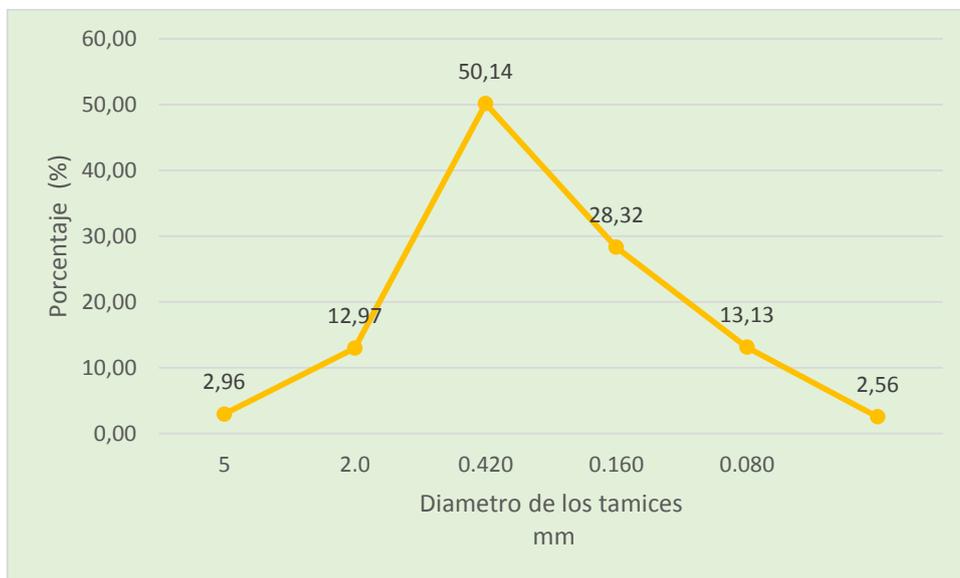


Figura 24. Curva Granulométrica de la arena volcánica

De acuerdo con Curva granulométrica de la arena volcánica podemos observar que la arena volcánica presenta partículas que van de los 5 mm hasta menores de 80  $\mu$ m y que

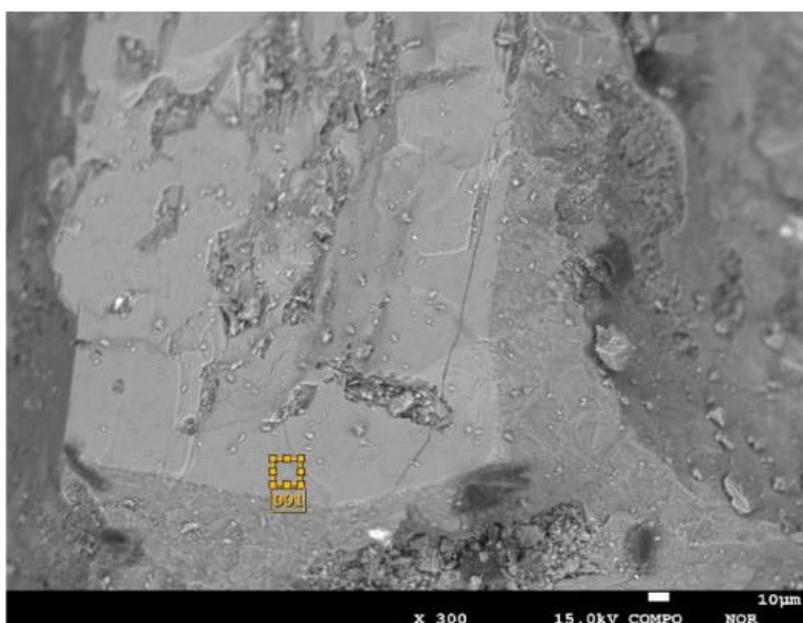
el tamiz # 40 retiene el mayor porcentaje de arena (50.14 %) que indica una finura hasta 0.42 mm, y que representa la medida intermedia de las partículas de arena volcánica por lo que se toma esta muestra (pasa tamiz 10 y retiene tamiz 40) para los ensayos de permeabilidad y filtración .

#### **4.2.2. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y QUÍMICAS DE LA ARENA VOLCÁNICA**

Para conocer la morfología de la arena volcánica, que se usara en el proceso de filtrado para reducir los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y color, es necesario conocer la forma superficial de los gránulos de arena tomada imágenes (micrografías) con el SEM del equipo EMPA Joel que han sido realizadas con una energía de 15 kV.

Las imágenes obtenidas con la Microsonda Joel presentan una superficie irregular con fisuras y además varias aglomeraciones de partículas muy pequeñas (1 – 20 µm) que penetran la superficie formado huecos. En la imagen M3 se puede notar huecos profundos que favorece el uso para retener contaminantes.

Los gránulos observados concuerdan con la granulometría dado que en la muestra M3 se observa el granulo más pequeño tiene un diámetro aproximado de 400 µm (0.4 mm) y las imágenes de las muestras M1, M2 y M4 muestran gránulos de mayor tamaño.



*Figura 25. Micrografía de la muestra M1*

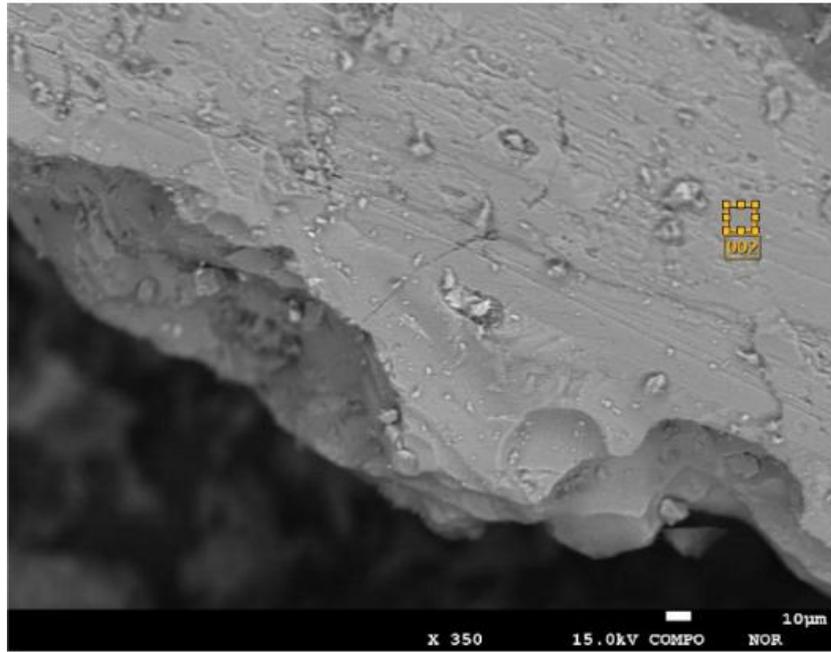


Figura 26. Micrografía de la muestra M2

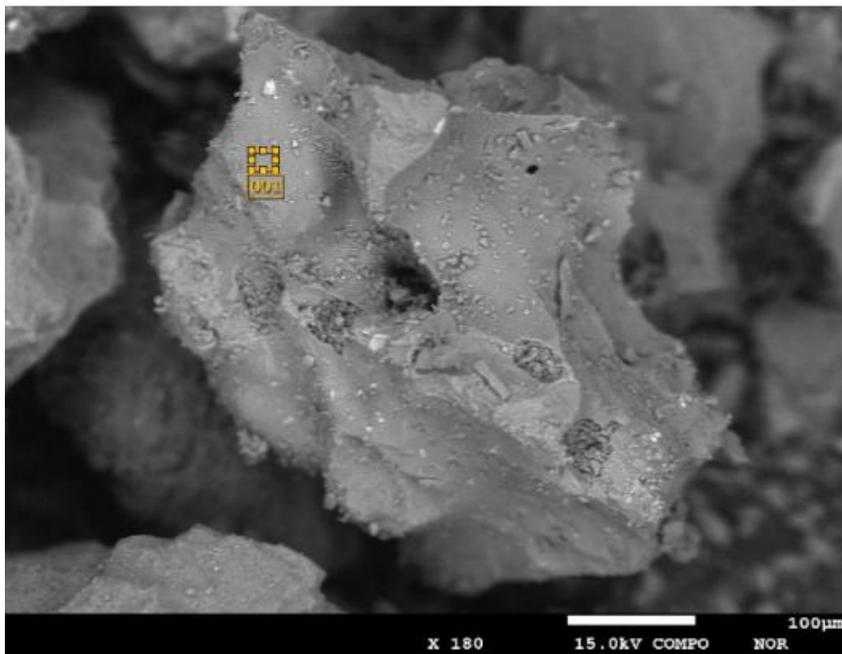


Figura 27. Micrografía de la muestra M3

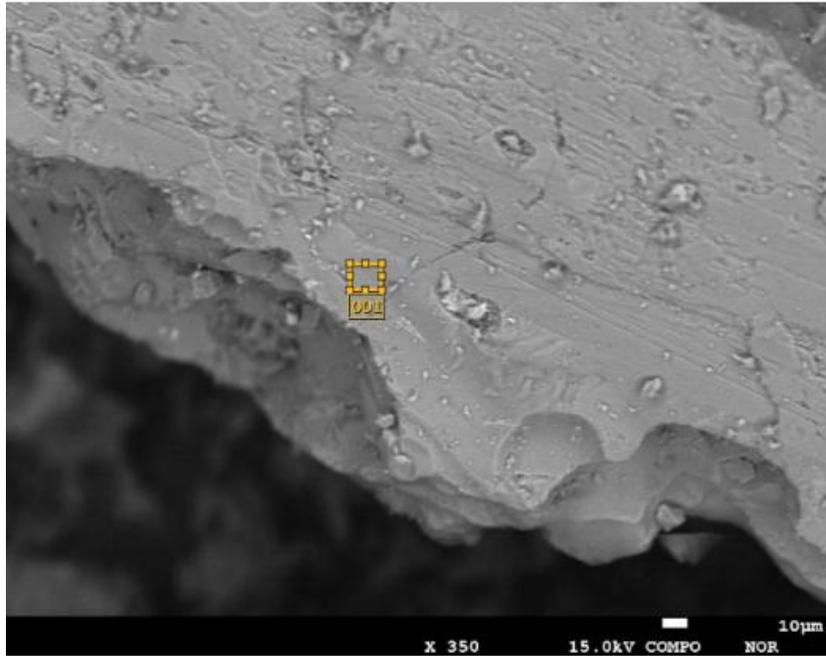


Figura 28. Micrografía de la muestra M4

Las Figuras 29 – 32 muestra los espectros relacionados con una pequeña zona (cuadrado en línea entrecortada) de las micrografías de las Figura 25 – 28 respectivamente, donde se analiza la composición elemental de las muestras. Los 4 espectros muestran el mayor pico para Silicio (Si) seguida de Aluminio (Al) en los espectros de las figuras 30 -32, y en excepción de espectro de la Figura 29 donde esta seguido por Magnesio (Mg).

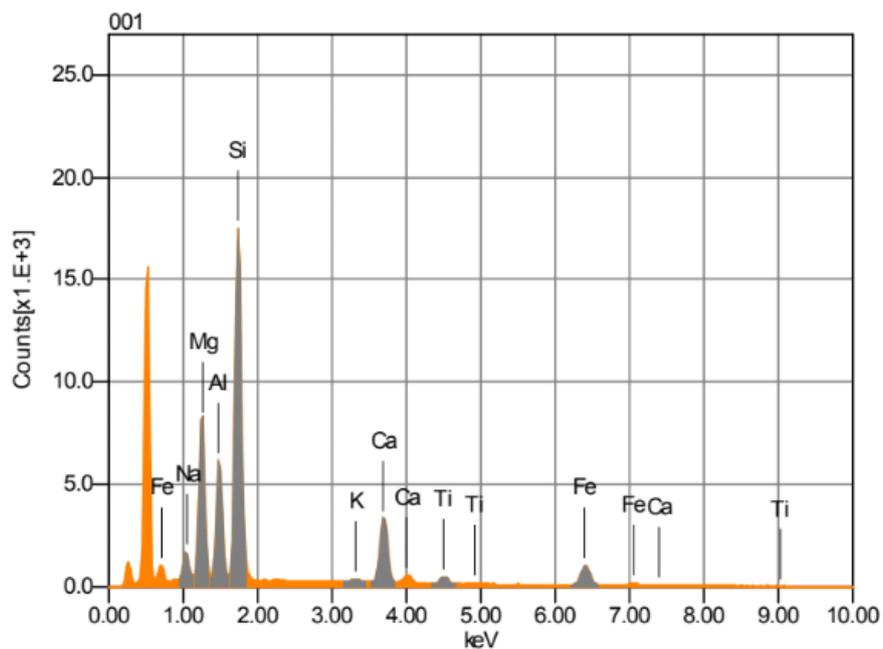


Figura 29. Espectro EDS de la muestra M1

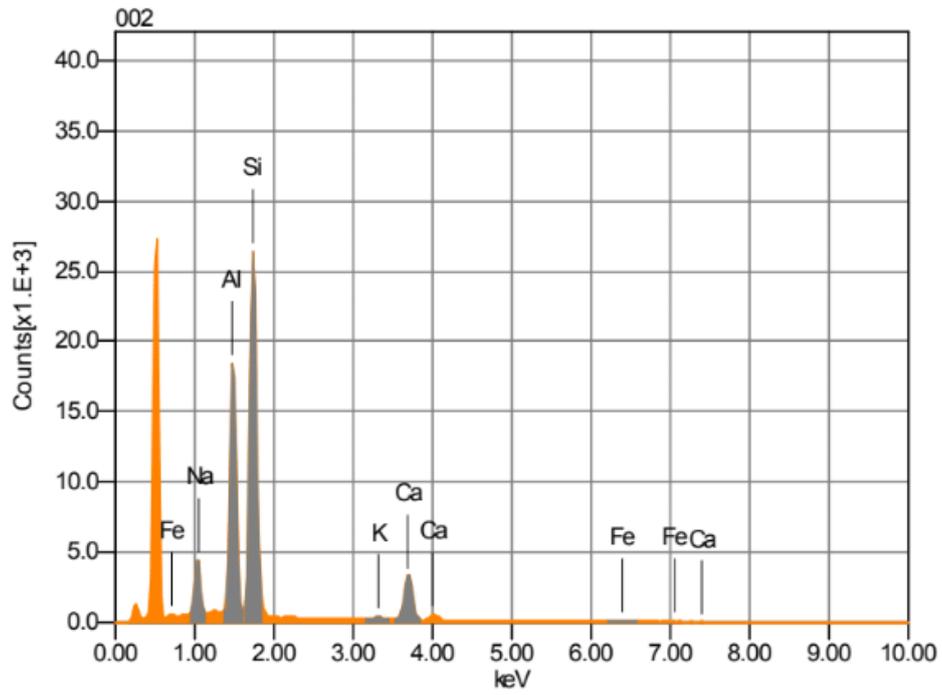


Figura 30. Espectro EDS de la muestra M2

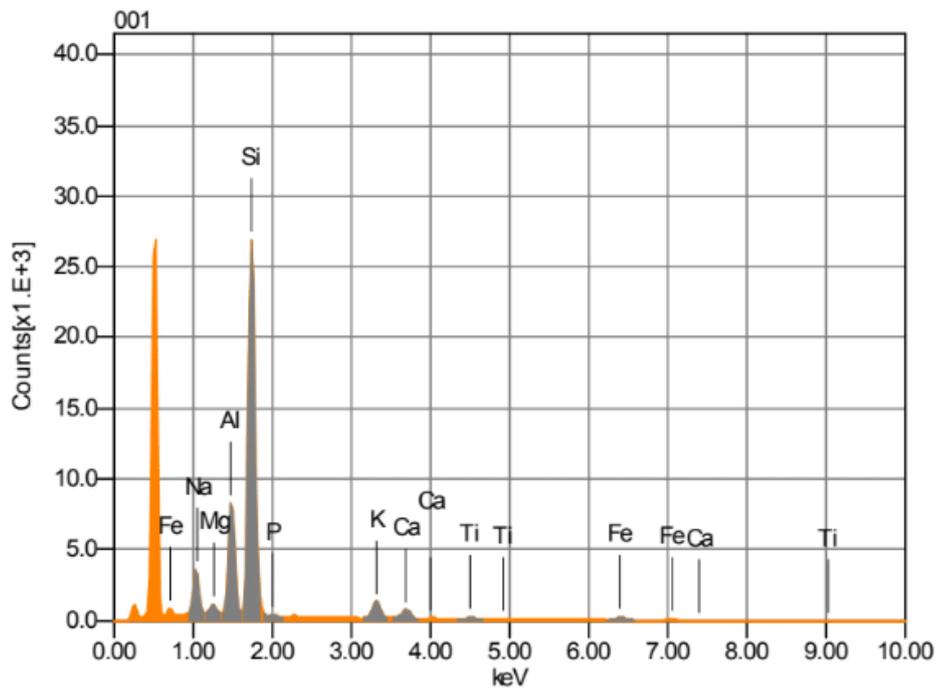


Figura 31. Espectro EDS de la muestra M3

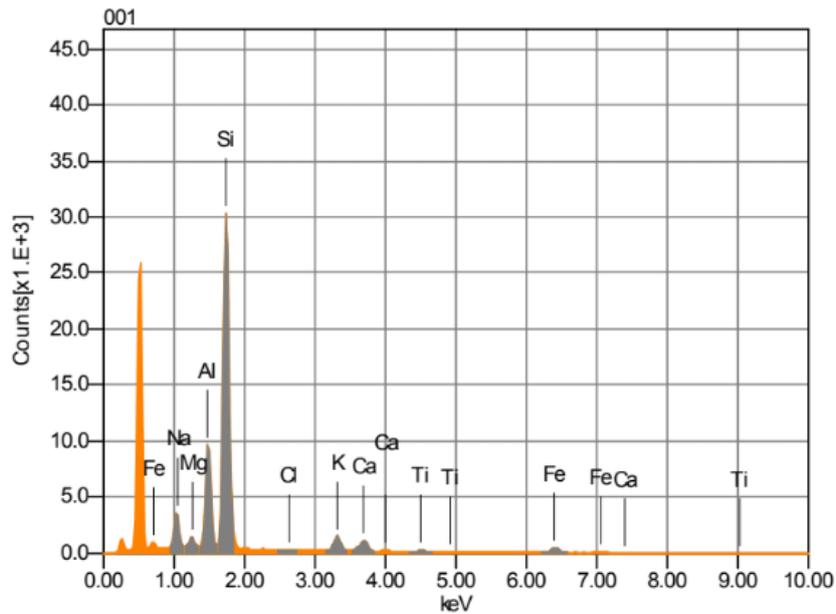


Figura 32. Espectros EDS en puntos específicos de las imágenes SEM

En la Tabla 16 se detalla la representación en porcentajes en masa y moles de cada elemento presente en las muestras analizadas, los porcentajes de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) oscilan de 44.7 a 67.56 % en masa siendo los más representativos de las muestras como se correlaciona con los espectros.

Tabla 16. Elementos Químicos de la arena volcánica

| Elementos                                 | M1         |            | M2         |            | M3         |            | M4         |            | Promedio      | Promedio      |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|
|   | % masa M1  | % moles M1 | % masa M2  | % moles M2 | % masa M3  | % moles M3 | % masa M4  | % moles M4 | % masa        | % moles       |
| <b><math>\text{Na}_2\text{O}</math></b>   | 2,17       | 2,1        | 5,3        | 5,78       | 5,16       | 5,43       | 4,44       | 4,67       | <b>4,27</b>   | <b>4,50</b>   |
| <b><math>\text{MgO}</math></b>            | 14,71      | 21,84      | 0          | 0          | 1,24       | 2,02       | 1,34       | 2,17       | <b>4,32</b>   | <b>6,51</b>   |
| <b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b> | 11,87      | 6,97       | 27,71      | 18,37      | 15,2       | 9,73       | 15,36      | 9,38       | <b>17,54</b>  | <b>11,11</b>  |
| <b><math>\text{SiO}_2</math></b>          | 44,7       | 44,53      | 55,61      | 62,58      | 67,56      | 73,4       | 65,72      | 71,36      | <b>58,40</b>  | <b>62,97</b>  |
| <b><math>\text{ClO}</math></b>            | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0,1        | 0,13       | <b>0,03</b>   | <b>0,03</b>   |
| <b><math>\text{P}_2\text{O}_5</math></b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0,5        | 0,23       | 0          | 0          | <b>0,13</b>   | <b>0,06</b>   |
| <b><math>\text{K}_2\text{O}</math></b>    | 0,45       | 0,28       | 0,38       | 0,27       | 3,61       | 2,5        | 3,33       | 2,31       | <b>1,94</b>   | <b>1,34</b>   |
| <b><math>\text{CaO}</math></b>            | 11,77      | 12,56      | 10,01      | 12,07      | 2,66       | 3,1        | 3,22       | 3,74       | <b>6,92</b>   | <b>7,87</b>   |
| <b><math>\text{TiO}_2</math></b>          | 2,64       | 1,98       | 0          | 0          | 1,13       | 0,92       | 1,13       | 0,92       | <b>1,23</b>   | <b>0,96</b>   |
| <b><math>\text{FeO}</math></b>            | 11,7       | 9,75       | 0,98       | 0,92       | 2,92       | 2,66       | 5,36       | 4,86       | <b>5,24</b>   | <b>4,55</b>   |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>100</b> | <b>100,00</b> | <b>100,00</b> |

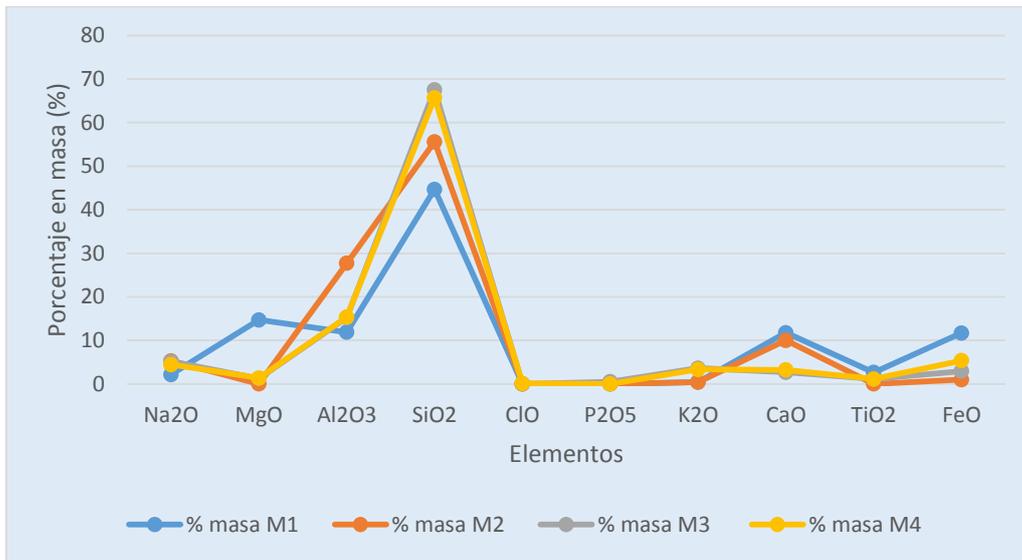


Figura 33. Porcentajes en masa de los elementos presentes en la arena volcánica

La figura 33 se muestran las líneas de tendencia de las 4 muestras, las muestra M1 presenta gran diferencia en el porcentaje del MgO con respecto a las otras 3 muestras, la M3 y M4 presenta casi los mismos porcentajes. El SiO<sub>2</sub> tiene el mayor porcentaje en las 4 muestras, en la M1 se diferencia de las otras 3 al tener 11.77 % de MgO.

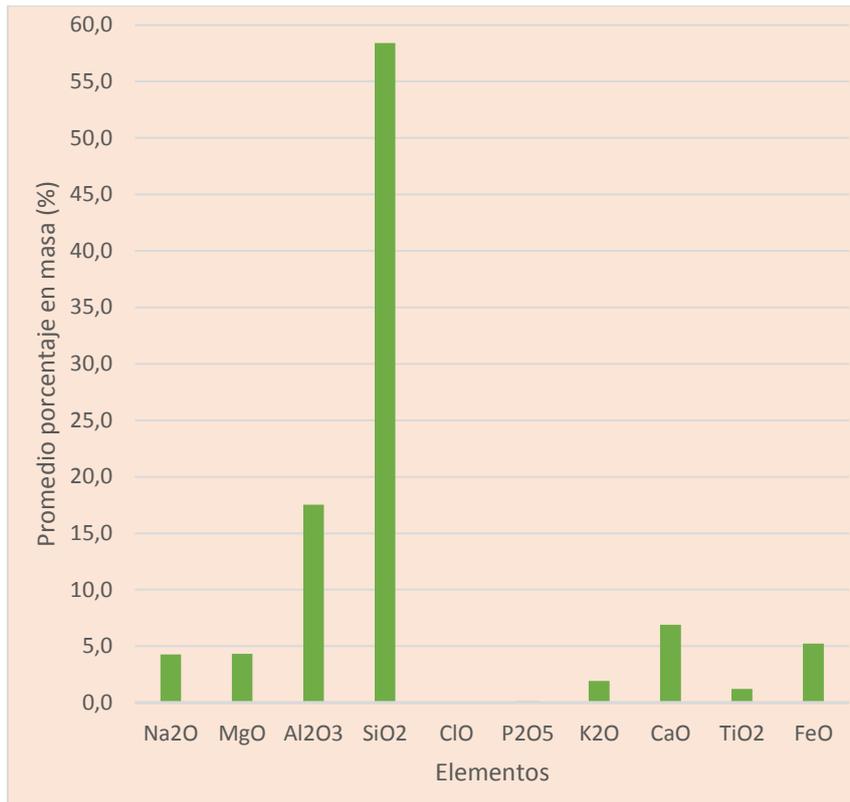


Figura 34. Promedio de los porcentajes en masa de los elementos presentes en las 4 muestras

### 4.3. CALCULO DE LA CONSTANTE DE PERMEABILIDAD DE LA ARENA VOLCÁNICA

Para determinar la constante de permeabilidad se siguió el proceso detallado en el literal 3.7 donde utilizamos la arena volcánica que pasa tamiz 10 y retiene tamiz 40 y el permeámetro de carga constantes de  $D_i = 6.4 \text{ cm}$

Al realizar la prueba de permeabilidad tomamos el tiempo que tarda en llenar un volumen (V) de  $25 \text{ cm}^3$ , repitiendo el proceso 10 veces para tener los siguientes tiempos:

|              |               |
|--------------|---------------|
| t1 = 17.14 s | t6 = 16.91 s  |
| t2 = 16.97 s | t7 = 18.22 s  |
| t3 = 17.15 s | t8 = 17.14 s  |
| t4 = 17.23 s | t9 = 18.02 s  |
| t5 = 16.92 s | t10 = 18.41 s |

*Cálculo del tiempo promedio de prueba:*

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10}}{10}$$

$$t = \frac{(17.14 + 16.97 + 17.15 + 17.23 + 16.92 + 16.91 + 18.22 + 17.14 + 18.02 + 18.41)\text{seg}}{10}$$

$$t = 17.41 \text{ seg}$$

*Área transversal del permeámetro:*

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (6.4 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 32.17 \text{ cm}^2$$

*Determinación Coeficiente de Permeabilidad:*

Del montaje del experimento se mide longitud de la muestra (L) que es 7 cm y la altura de la carga hidráulica (h) de 62 cm para emplearlo en la ecuación de Darcy y determinar la constante de permeabilidad de la arena volcánica (K).

$$K = \frac{V * L}{A * t * h}$$

$$K = \frac{25 \text{ cm}^3 * 7 \text{ cm}}{32.17 \text{ cm}^2 * 17.41 \text{ seg} * 62 \text{ cm}}$$

$$K = 0.00504 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 5.04 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Este proceso se repite utilizando el agua residual (AR) producida en la lavadora RAM Jeans durante los 5 días laborables como se detalla en la Tabla 17, donde tenemos variedad en la constante de permeabilidad según el agua residual de cada día, así tiene una K elevada de 9,15 para el día Jueves donde el AR se ve menos densa.

Tabla 17. Resultados obtenidos de la permeabilidad durante una semana ensayada la muestra

| Día       | Volumen             | Longitud muestra | Área                | Tiempo de prueba | Carga Hidráulica | Permeabilidad |                    |
|-----------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|---------------|--------------------|
|           | V(cm <sup>3</sup> ) | L(cm)            | A(cm <sup>2</sup> ) | t (seg)          | h (cm)           | cm/seg        | * 10 <sup>-3</sup> |
| Lunes     | 25                  | 7                | 32,17               | 14,42            | 62               | 0,00608       | 6,08               |
| Martes    | 25                  | 7                | 32,17               | 11,75            | 62               | 0,00747       | 7,47               |
| Miércoles | 25                  | 7                | 32,17               | 17,41            | 62               | 0,00504       | 5,04               |
| Jueves    | 25                  | 7                | 32,17               | 9,59             | 62               | 0,00915       | 9,15               |
| Viernes   | 25                  | 7                | 32,17               | 15,41            | 62               | 0,00569       | 5,69               |

#### 4.4. PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE AGUA RESIDUAL

Es esencial conocer las características del agua residual antes y después del proceso de filtración, así sabremos si la arena volcánica puede ser utilizada como material filtrante.

En las tablas 18, 19 y 20 se detallan los datos de las pruebas experimentales realizadas para la determinación de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales de la lavadora que se obtienen mediante cálculos matemáticos simples de la experimentación.

*Demanda química de oxígeno:*

Tabla 18. Concentración DQO antes y después del filtrado del agua residual.

| DIA              | VOLUMEN AGUA RESIDUAL | MASA     | Concentración inicial | Concentración final | Concentración absorbida | Porcentaje adsorbido (Eficiencia) | Cantidad adsorbida |
|------------------|-----------------------|----------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|
|                  | <b>V</b>              | <b>m</b> | <b>Ci</b>             | <b>Cf</b>           | <b>Cabs</b>             | <b>Ef.</b>                        | <b>q</b>           |
|                  | (L)                   | (g)      | mg/L                  | mg/L                | mg/L                    | %                                 | mg/g               |
| <b>lunes</b>     | 0,35                  | 356      | 84                    | 46                  | 38                      | 45,24                             | 0,04               |
| <b>martes</b>    | 0,35                  | 356      | 540                   | 478                 | 62                      | 11,48                             | 0,06               |
| <b>miércoles</b> | 0,35                  | 356      | 428                   | 345                 | 83                      | 19,39                             | 0,08               |
| <b>jueves</b>    | 0,35                  | 356      | 286                   | 186                 | 100                     | 34,97                             | 0,10               |
| <b>viernes</b>   | 0,35                  | 356      | 528                   | 414                 | 114                     | 21,59                             | 0,11               |

En la Figura 35 se puede ver el comportamiento de la concentración de DQO antes y después del filtrado del agua residual que presenta cada día de ensayo, donde el día martes y viernes presentan las concentraciones iniciales más altas de alrededor de 540 mg/L y 528 mg/L respectivamente, correlacionadas con concentraciones finales de 478 mg/L y 414 mg/L respectivamente.

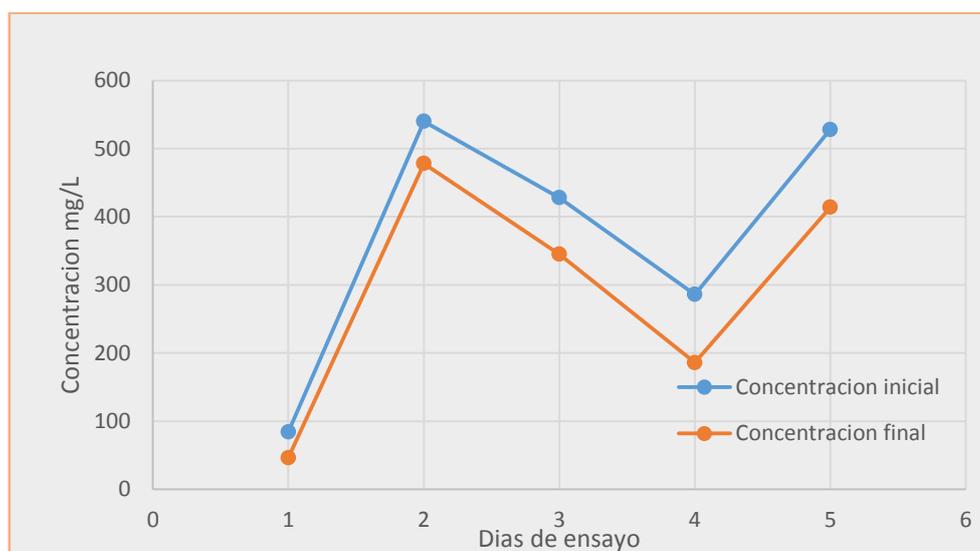


Figura 35. Concentración de DQO antes y después del filtrado del agua residual.



Figura 36. Porcentaje absorbido de eficiencia de concentración de DQO

En el gráfico se puede observar que durante la semana de trabajo los valores de porcentaje absorbido varían de acuerdo a la turbiedad del agua que presenta cada día, la muestra ensayada el día lunes tiene un valor elevado de porcentaje absorbido de 45.24 %. En cambio la segunda y tercera muestras ensayadas disminuyen considerablemente sus valores a un 11.48 % y 19.39% de eficiencia respectivamente. En cambio el día jueves la muestra ensayada vuelve a subir su porcentaje de absorción en un 34.97 % de eficiencia y el día viernes baja un poco su porcentaje de absorción a un 21.59 % de eficiencia. A lo que se puede decir que el filtro es capaz de remover un alto porcentaje de concentración para este parámetro.

#### *Demanda Bioquímica de Oxígeno:*

Tabla 19. Concentración DBO<sub>5</sub> antes y después del filtrado del agua residual.

| DIA              | VOLUMEN | MASA | Concentración inicial | Concentración final | Concentración absorbida | Porcentaje adsorbido (Eficiencia) | Cantidad absorbida |
|------------------|---------|------|-----------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------|
|                  | V       | m    | Ci                    | Cf                  | Cabs                    | Ef.                               | q                  |
|                  | (L)     | (g)  | mg/L                  | mg/L                | mg/L                    | %                                 | mg/g               |
| <b>lunes</b>     | 0,35    | 356  | 42                    | 23                  | 19                      | 45,24                             | 0,02               |
| <b>martes</b>    | 0,35    | 356  | 270                   | 239                 | 31                      | 11,48                             | 0,03               |
| <b>miércoles</b> | 0,35    | 356  | 214                   | 172,5               | 41,50                   | 19,39                             | 0,04               |
| <b>jueves</b>    | 0,35    | 356  | 143                   | 93                  | 50                      | 34,97                             | 0,05               |
| <b>viernes</b>   | 0,35    | 356  | 264                   | 207                 | 57                      | 21,59                             | 0,06               |

En la Figura 37 se puede ver los resultados de la concentración de  $\text{DBO}_5$  antes y después del filtrado del agua residual que presenta cada día de ensayo, donde el día martes y viernes presentan las concentraciones iniciales más altas de alrededor de 270 mg/lt y 264 mg/lt para  $\text{DBO}_5$  inicial y para  $\text{DBO}_5$  final los días con más concentración son martes y viernes con valores de 239 mg/lt y 207 mg/lt respectivamente.

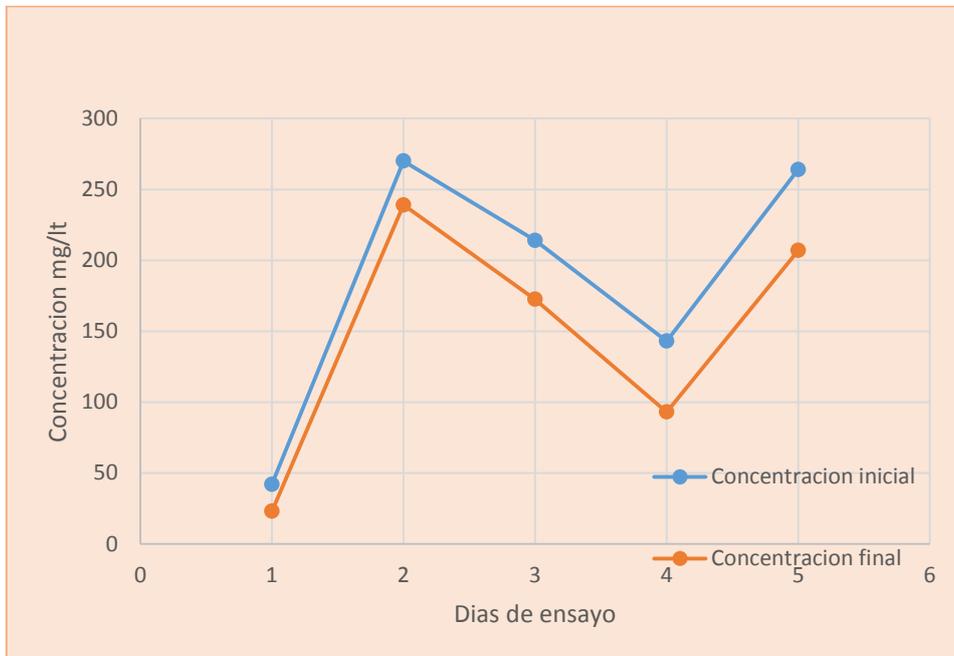


Figura 37. Concentración de  $\text{DBO}_5$  antes y después del filtrado del agua residual



Figura 38. Porcentaje absorbido de eficiencia de  $\text{DBO}_5$ .

En el análisis de eficiencia de demanda bioquímica de oxígeno se puede observar que la mayor remoción se da en la primera muestra ensayada el día lunes obteniendo un valor de 45.24% de eficiencia, se puede decir que el filtro es capaz de remover un alto porcentaje de concentración para este parámetro. Luego en la segunda y tercera muestra ensayada se observa que los valores disminuyen considerablemente a 11.48% y 19.39% respectivamente. El día miércoles la muestra ensayada volvió a tener un alto valor de porcentaje absorbido de 34.97% de eficiencia. Para el día viernes se observó que la muestra ensayada disminuye un poco su porcentaje de absorción a un 21.59% de eficiencia de remoción.

*Color:*

*Tabla 20. Concentración de COLOR antes y después del filtrado del agua residual.*

| <b>DIA</b>       | <b>VOLUMEN<br/>AGUA<br/>RESIDUAL</b> | <b>MASA</b> | <b>Concentración<br/>inicial</b> | <b>Concentración<br/>final</b> | <b>Concentración<br/>absorbida</b> | <b>Porcentaje<br/>absorbido<br/>(Eficiencia)</b> | <b>Cantidad<br/>absorbida</b> |
|------------------|--------------------------------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|--|-------------------------------|
|                  | <b>V</b>                             | <b>m</b>    | <b>Ci</b>                        | <b>Cf</b>                      | <b>Cabs</b>                        | <b>Ef.</b>                                       | <b>q</b>                      |
|                  | <b>(L)</b>                           | <b>(g)</b>  | <b>PCU</b>                       | <b>PCU</b>                     | <b>PCU</b>                         | <b>%</b>   | <b>mg/g</b>                   |
| <b>lunes</b>     | 0,35                                 | 356         | 481                              | 191                            | 290                                | 60,29  | 0,29                          |
| <b>martes</b>    | 0,35                                 | 356         | 1050                             | 910                            | 140                                | 13,33  | 0,14                          |
| <b>miércoles</b> | 0,35                                 | 356         | 430                              | 140                            | 290                                | 67,44  | 0,29                          |
| <b>jueves</b>    | 0,35                                 | 356         | 750                              | 318                            | 432                                | 57,60  | 0,42                          |
| <b>viernes</b>   | 0,35                                 | 356         | 1630                             | 960                            | 670                                | 41,10  | 0,66                          |

En la Figura 39 se puede ver los resultados de la concentración de COLOR antes y después del filtrado del agua residual que presenta cada día de ensayo, donde el día viernes y martes presentan las concentraciones iniciales más altas de alrededor de 1630 PCU y 1050 PCU para concentración de Color inicial y para Concentración de Color final los días con más concentración son viernes y martes con valores de 960 PCU y 910 PCU respectivamente.

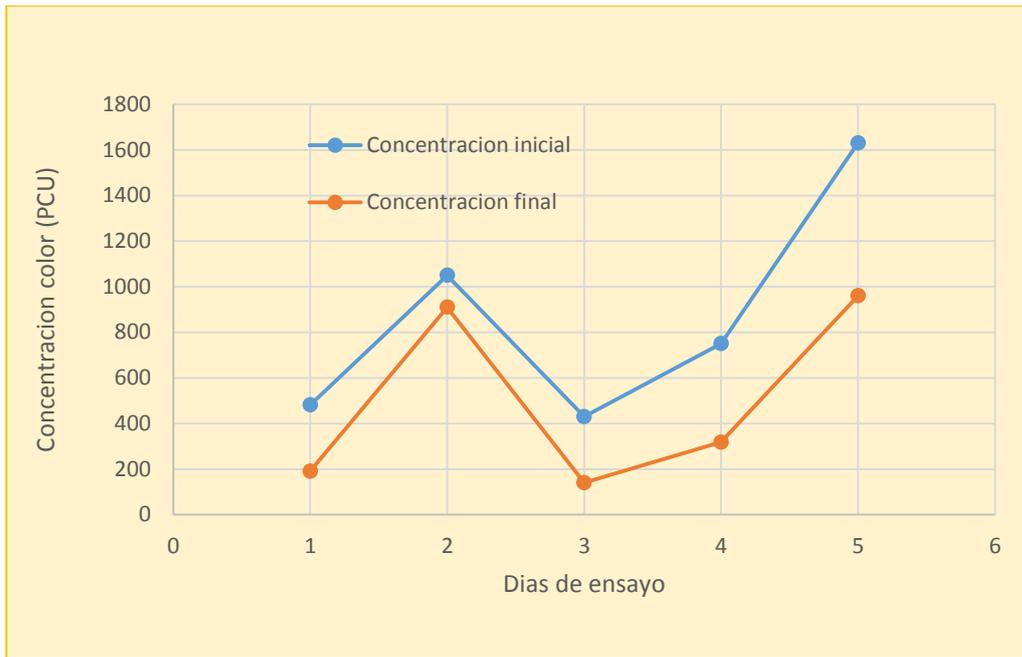


Figura 39. Concentración de Color antes y después del filtrado del agua residual.



Figura 40. Porcentaje absorbido de eficiencia de concentración de COLOR

En el análisis de eficiencia de COLOR se puede observar que la mayor remoción se da el día miércoles donde el agua residual sin filtrada fue de 430 PCU y la muestra filtrada de 140 PCU esto representa el 67.44 % de eficiencia, se puede decir que el filtro es capaz de remover un alto porcentaje de concentración para este parámetro. El día lunes se alcanza una eficiencia del 60.29%. El día martes se observa que la eficiencia de remoción disminuyó considerablemente a 13.33%, el día jueves se observa una

remoción de 57.6% y finalmente la muestra ensayada el ultimo día se observa que la eficiencia de remoción disminuye en comparación a la del jueves a 41.1%.

#### 4.4.1. RELACIÓN DE LA BIODEGRADABILIDAD ANTES Y DESPUES DE FILTRAR EL AGUA RESIDUAL

*Tabla 21. Relación de la biodegradabilidad antes y después del filtrado.*

| <b>DIA</b>       | <b>DQO inicial</b> | <b>DBO inicial</b> | <b>Relación</b> | <b>DQO final</b> | <b>DBO final</b> | <b>Relación</b> |
|------------------|--------------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
| <b>lunes</b>     | 84                 | 42                 | 0.50            | 46               | 23               | 0.50            |
| <b>martes</b>    | 540                | 270                | 0.50            | 478              | 239              | 0.50            |
| <b>miércoles</b> | 428                | 214                | 0.50            | 345              | 172.5            | 0.50            |
| <b>jueves</b>    | 286                | 143                | 0.50            | 186              | 93               | 0.50            |
| <b>viernes</b>   | 528                | 264                | 0.50            | 414              | 207              | 0.50            |

Como se muestra en la Tabla 21 la relación de la biodegradabilidad en la lavadora es constante debido a que los estudios muestran que el DBO<sub>5</sub> es aproximadamente el 50% del DQO. Por lo que tenemos un resultado de 0.5 lo cual nos muestra que son biodegradables y el agua residual puede ser tratada mediante tratamientos biológicos.

#### 4.5. VERIFICACIÓN DE LA HIPOTESIS

Se verifica la hipótesis alternativa debido a que el agua residual que genera la lavadora RAM Jeans y que fue tratada en el filtro biológico de arena volcánica, obtuvo una reducción considerable en los parámetros tratados. Esto se ha podido comprobar mediante los análisis de laboratorio obtenidos de la biofiltración del agua residual y realizando un análisis de las mismas, ya que en los parámetros analizados se observa disminución o remoción de los contaminantes hasta en un 45 % para DQO y DBO y hasta un 70 % en color.

# CAPITULO V

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

La investigación de campo en la lavadora RAM Jeans permito conocer que la infraestructura es adecuada al tener los espacios bien distribuidos para el personal y la maquinaria, además el funcionamiento es eficaz porque tiene bien determinados los volúmenes de agua para cada proceso.

De acuerdo con los datos volumétricos de cada proceso se puede determinar el caudal de entrada y salida que usa la lavadora RAM Jeans, siendo estos 4.12 L/seg y 4.10 L/seg respectivamente.

La arena volcánica utilizada como material filtrante tiene gránulos 5mm hasta menores de 80  $\mu\text{m}$ , también presenta una superficie irregular y con aglomerados que facilitan la retención de contaminantes, además está compuesta por  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ClO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{FeO}$ .

Con el proceso de filtración del agua residual proveniente de la lavadora RAM Jeans con arena volcánica se pudo determinar que para los parámetros en estudio muestran una eficiencia de remoción favorable dentro de lo que respecta a consumo de oxígeno y la carga orgánica. Para DQO alcanza una eficiencia de 45.24% y para  $\text{DBO}_5$  la eficiencia de remoción alcanza un valor de 45.24%, en lo que corresponde al parámetro de Color este tubo una eficiencia de remoción de 67.44%.

La arena volcánica da valores menores a los límites permisibles para  $\text{DBO}_5$  y DQO en lo que respecta a la descarga de agua residual al sistema de alcantarillado público, pero para color aun no alcanza los límites permisibles

El filtro de arena volcánica como único y principal material filtrante nos ayudó a disminuir los principales contaminantes, pudiendo deducir que con los estudios necesarios y sin necesidad de grandes inversiones de dinero y con la implementación de

materiales de nuestro medio podemos disminuir el impacto que le hacemos a nuestro medio ambiente.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- ❖ Los datos obtenidos en el desarrollo de este trabajo deben ser tomados en cuenta para que se implementen los procesos definidos durante esta investigación para el tratamiento de aguas residuales en las lavadoras de jeans.
- ❖ Es necesario que para el parámetro de Color se lo complemente con otro tipo de filtro ya que los valores obtenidos en la realización del trabajo experimental son muy elevados y no cumplen con el límite máximo permisible en el TULSMA.
- ❖ Procurar que el agua a ser tratada esté libre de fibras, piedras e impurezas, ya que estas pueden interrumpir la normal circulación a través de las tuberías.
- ❖ Se debe seguir potencializando este tipo de investigaciones, ya que a futuro se convertirán en tendencias alternativas para tratar las aguas industriales que tanto afectan el medio ambiente que nos rodea.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Á. A. Ruiz, “Artículo de Revisión La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua,” *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 1, no. 2, pp. 61–66, 2012.
- [2] M. Vargas Rodriguez, “evaluacion proceso de bioabsorcion con cascara de naranja para la eliminacion del colorante comercial Lanasol Navy CE en aguas residuales de la industria textil.”
- [3] A. Arango Ruiz, “La biofiltración , una alternativa para la potabilización del agua.,” *Lasallista Investig.*, vol. 1, no. 2, pp. 61–66, 2004.
- [4] G. Salas Colotta, “Tratamiento físico-químico de Aguas Residuales de la Industria Textil,” *Rev. Per. Quím vol. 5 N° 2*, vol. 52, no. 0. pp. 73–80, 2003.
- [5] A. Arango Ruiz, “La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales,” *Rev. Lasallista Investig.*, vol. II, no. 1, pp. 49–56, 2005.
- [6] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2669,” vol. 1. pp. 1–26, 2013.
- [7] American Public Health Association, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, no. 18. 1992.
- [8] Alcaldia Metropolitana, “Guía de practicas ambientales, mecánicas, lubricadoras y lavadoras,” *Guía de prácticas ambientales*. pp. 1–24, 2008.
- [9] J. A. Tavera Garcia and Y. A. Torres Burgos, “Manejo, tratamiento y reuso del agua en la estación de lavado de vehículos ‘Los Angeles’ Kennedy, Bogotá D.C.,” Bogots, 2015.
- [10] S. A. Kiran, G. Arthanareeswaran, Y. L. Thuyavan, and A. F. Ismail, “Influence of bentonite in polymer membranes for effective treatment of car wash effluent to protect the ecosystem,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 121, pp. 1–7, 2015.
- [11] H. Rubí, C. Fall, and R. E. Ortega, “Pollutant removal from oily wastewater discharged from car washes through sedimentation-coagulation,” *Water Sci. Technol.*, vol. 59, no. 12, pp. 2359–2369, 2009.
- [12] J. P. Rodríguez-Miranda, E. Gómez, L. Garavito, and F. López, “Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales,” *Tecnol. y Ciencias del Agua*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2010.
- [13] C. Fall, C. López, M. Jiménez, C. Díaz, D. García, and M. Lucero, “Carwash wastewaters: characteristics, volumes, and treatability by gravity oil separation,” *Rev. Mex. Ing. Química*, vol. 6, no. 2, pp. 175–184, 2007.
- [14] N. D. Casallas, “Diseño de un sistema a nivel piloto para la remoción de detergentes anionicos de una solución preparada con características de una lavandería tipo con el fin de reducir la concentración letal media (cl50-48) para *Daphnia Pulex.*,” 2008.

- [15] I. Mendoza, N. Fernández, and G. Ettiene, "Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas," *Ciencia*, vol. 8, no. 2, pp. 235–242, 2000.
- [16] K. Boussu, C. Kindts, C. Vandecasteele, and B. Van der Bruggen, "Applicability of nanofiltration in the carwash industry," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 54, no. 2, pp. 139–146, 2007.
- [17] M. A. Belmont, E. Cantellano, S. Thompson, M. Williamson, A. Sánchez, and C. D. Metcalfe, "Treatment of domestic wastewater in a pilot-scale natural treatment system in central Mexico," *Ecol. Eng.*, vol. 23, no. 4–5, pp. 299–311, 2004.
- [18] M. Panizza and G. Cerisola, "Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 2: Electrocoagulation and anodic oxidation integrated process," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 638, no. 2, pp. 236–240, 2010.
- [19] A. González, L. De Mejias, J. Gonzalez, S. Carrasquero, and A. Montiel, "Uso de las Semillas de Moringa oleifera como coagulante en el tratamiento de efluentes provenientes del lavado de vehículos.," *Rev. Int. Biol.*, vol. 51, no. 1, pp. 31–42, 2017.
- [20] S. Carrasquero, K. Terán, M. Mas y Rubi, G. Colina, and A. Díaz, "Evaluación de un tratamiento fisicoquímico en efluentes provenientes del lavado de vehículos para su reutilización," *Impacto Científico*, vol. 10, no. 2, pp. 122–139, 2015.
- [21] L. Méndez, V. Miyashiro, R. Rojas, M. Cotrado, and N. Carrasco, "Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala De Laboratorio," *Rev. del Inst. Investig. FIGMMG*, vol. 7, no. 14, pp. 74–83, 2004.
- [22] A. Sánchez, "Análisis de la cascarilla de arroz utilizada como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de lavadoras y lubricadoras de autos 'Polito's' ubicada en el cantón Tisaleo de la provincia de Tungurahua.," 2017.
- [23] D. Pérez, "Análisis de zeolita como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos 'Ayuda al campesino' de la parroquia la Matriz - cantón Quero - provincia de Tungurahua.," 2017.
- [24] J. Sánchez, "Análisis de la cama de turba como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos 'Lavauto' ubicada en la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi.," 2017.
- [25] A. Navas, "Análisis de la fibra de coco como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos 'Izurieta' ubicada en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua.," 2017.
- [26] J. Nata, "Análisis de piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de una lavadora y lubricadora de autos 'City Wash', ubicada en la ciudad Ambato, provincia de Tungurahua.," 2018.
- [27] D. Guaman, "Análisis del aserrín como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos Monster Wash ubicada en el cantón Ambato.," 2017.
- [28] K. Avalos, "Análisis de carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas

- residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos ‘Heredia’ de la ciudad de Riobamba,” 2017.
- [29] R. Sánchez, “Análisis de ladrillo triturado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora ‘san francisco’ ubicada en la ciudad de ambato.,” 2017.
- [30] J. Torres, “Análisis del piroclasto volcánico como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos ‘Ambato’ ubicada en la ciudad de ambato provincia de Tungurahua.,” 2017.
- [31] H. Quinaluiza, “Análisis de cenizas vegetales como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora de autos ‘Reina del cisne’ ubicada en el cantón Pillaro,” 2017.
- [32] E. Padilla, “Análisis de la cáscara de naranja como material filtrante en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la lavadora de autos ‘orlan2’ ubicada en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi.,” 2018.
- [33] E. Rodríguez, “Análisis de grava como filtro en el tratamiento de aguas residuales proveniente de lavadora y lubricadora ‘Rida’ ubicada en la ciudad de Patate – provincia de Tungurahua,” 2017.
- [34] W. Villareal, “Diseño para la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el estadio de la Universidad Técnica del Norte, cantón Ibarra provincia Imbabura,” 2015.



$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (6.4 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 32.17 \text{ cm}^2$$

3.- Cálculo del tiempo promedio de prueba

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10}}{10}$$

$$t = \frac{12.91 + 16.19 + 14.50 + 12.84 + 14.81 + 15.30 + 12.90 + 14.50 + 16.01 + 14.30}{10}$$

$$t = 14.42 \text{ seg}$$

4.- Determinación Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{V * L}{A * t * h}$$

$$K = \frac{25 \text{ cm}^3 * 7 \text{ cm}}{32.17 \text{ cm}^2 * 14.42 \text{ seg} * 62 \text{ cm}}$$

$$K = 0.00608 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 6.08 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$



$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (6.4 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 32.17 \text{ cm}^2$$

3.- Cálculo del tiempo promedio de prueba

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10}}{10}$$

$$t = \frac{11.75 + 11.80 + 11.88 + 11.69 + 11.70 + 11.80 + 11.76 + 11.60 + 11.75 + 11.80}{10}$$

$$t = 11.75 \text{ seg}$$

4.- Determinación Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{V * L}{A * t * h}$$

$$K = \frac{25 \text{ cm}^3 * 7 \text{ cm}}{32.17 \text{ cm}^2 * 11.75 \text{ seg} * 62 \text{ cm}}$$

$$K = 0.00746 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 7.46 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$



$$A = \frac{\pi (6.4 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 32.17 \text{ cm}^2$$

3.- Cálculo del tiempo promedio de prueba

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10}}{10}$$

$$t = \frac{17.14 + 16.97 + 17.15 + 17.23 + 16.92 + 16.91 + 18.22 + 17.14 + 18.02 + 18.41}{10}$$

$$t = 17.41 \text{ seg}$$

4.- Determinación Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{V * L}{A * t * h}$$

$$K = \frac{25 \text{ cm}^3 * 7 \text{ cm}}{32.17 \text{ cm}^2 * 17.41 \text{ seg} * 62 \text{ cm}}$$

$$K = 0.00504 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 5.04 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$

**Jueves 26-07-2018 con agua residual de la Lavadora RAM Jeans del Cantón Pelileo.**

- Utilizamos de muestra el material (arena volcánica) que pasa tamiz 10 y retiene tamiz 40.

#### DATOS

Di permeámetro = 6.4 cm

Volumen medio cm<sup>2</sup> = 25 cm<sup>3</sup>

Longitud de la muestra = 7 cm

Área transversal de la muestra

Altura carga hidráulica = 62 cm

Tiempo de prueba

#### PROCEDIMIENTO

T = 20 C (temperatura agua residual)

1.-Toma de tiempos para un volumen de 25 cm<sup>3</sup>

t1 = 9.62 s

t6 = 9.50 s

t2 = 9.65 s

t7 = 9.42 s

t3 = 9.60 s

t8 = 9.75 s

t4 = 9.50 s

t9 = 9.56 s

t5 = 9.60 s

t10 = 9.70 s

2.-Calculo área transversal de la muestra

Di = 6.4 cm

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (6.4 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 32.17 \text{ cm}^2$$

3.- Cálculo del tiempo promedio de prueba

$$t = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10}}{10}$$

$$t = \frac{9.62 + 9.65 + 9.60 + 9.50 + 9.60 + 9.50 + 9.42 + 9.75 + 9.56 + 9.70}{10}$$

$$t = 9.59 \text{ seg}$$

4.- Determinación Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{V * L}{A * t * h}$$

$$K = \frac{25 \text{ cm}^3 * 7 \text{ cm}}{32.17 \text{ cm}^2 * 9.59 \text{ seg} * 62 \text{ cm}}$$

$$K = 0.00915 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 9.15 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$

**Viernes 27-07-2018 con agua residual de la Lavadora RAM Jeans del Cantón Pelileo.**

- Utilizamos de muestra el material (arena volcánica) que pasa tamiz 10 y retiene tamiz 40.

DATOS

Di permeámetro = 6.4 cm

Volumen medio cm<sup>2</sup> = 25 cm<sup>3</sup>

Longitud de la muestra = 7 cm

Área transversal de la muestra

Altura carga hidráulica = 62 cm

Tiempo de prueba

## PROCEDIMIENTO

T = 20 C (temperatura agua residual)

1.-Toma de tiempos para un volumen de 25 cm<sup>3</sup>

t1 = 14.27 s

t6 = 15.72 s

t2 = 14.21s

t7 = 16.32 s

t3 = 13.90 s

t8 = 16.13s

t4 = 14.50 s

t9 = 16.79 s

t5 = 15.19 s

t10 = 17.10 s

2.-Calculo área transversal de la muestra

Di = 6.4 cm

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (6.4 \text{ cm})^2}{4}$$

$$A = 32.17 \text{ cm}^2$$

3.- Cálculo del tiempo promedio de prueba

$$t = \frac{t1 + t2 + t3 + t4 + t5 + t6 + t7 + t8 + t9 + t10}{10}$$

$t$

$$= \frac{14.27 + 14.21 + 13.90 + 14.50 + 15.19 + 15.72 + 16.32 + 16.13 + 16.79 + 17.10}{10}$$

$$t = 15.41 \text{seg}$$

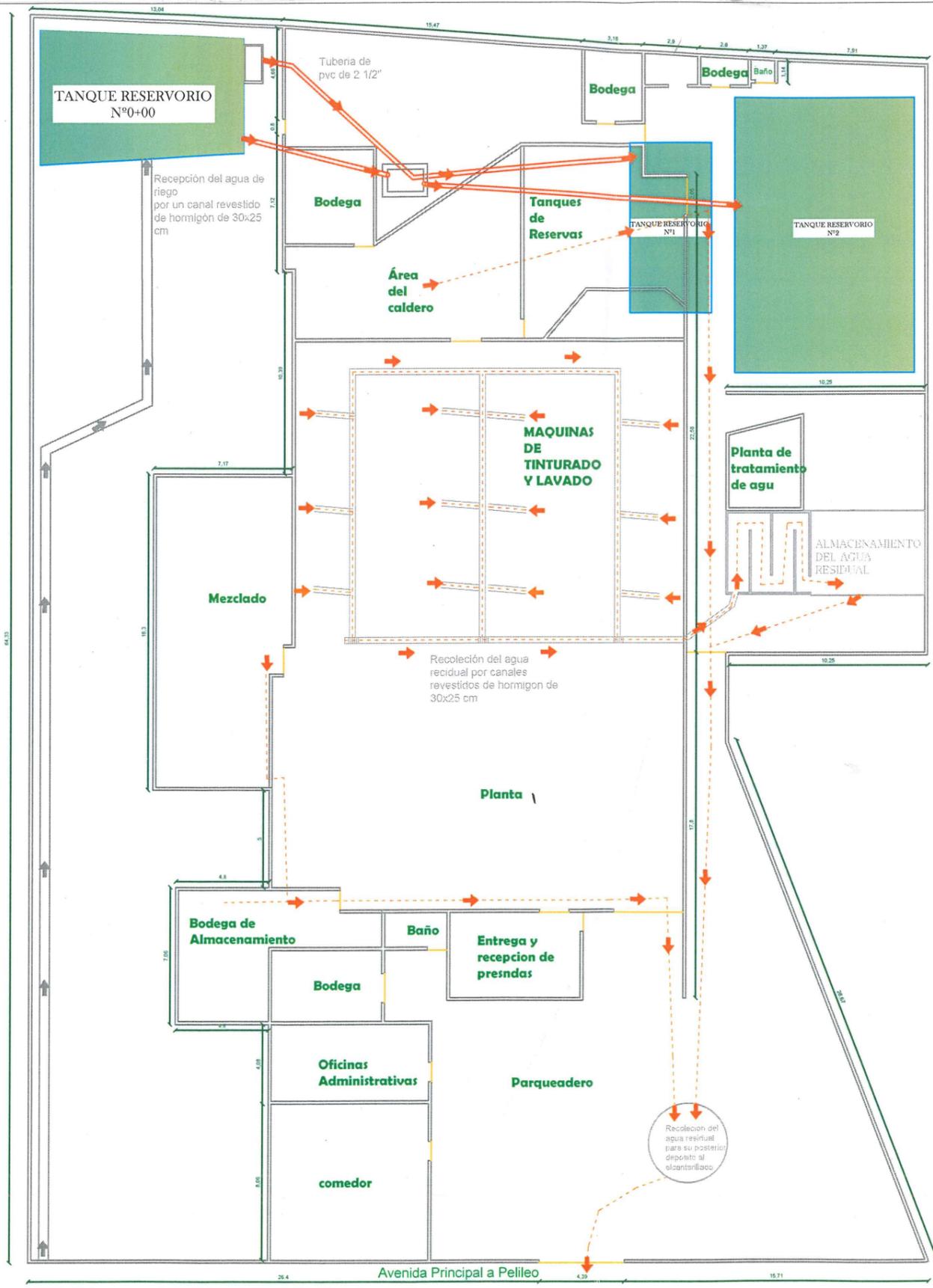
4.- Determinación Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{V * L}{A * t * h}$$

$$K = \frac{25 \text{ cm}^3 * 7 \text{ cm}}{32.17 \text{ cm}^2 * 15.41 \text{ seg} * 62 \text{ cm}}$$

$$K = 0.00569 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 5.69 * 10^{-3} \text{ cm/s}$$

ANEXO B. PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA LAVADORA RAM JEANS



**UBICACION**

**PELILEO**

**DESCRIPCIÓN**

La industria de lavado y tinturado RAM JEANS se encuentra ubicado en la Sierra central del Ecuador, al Norte-Oeste de la provincia de Tungurahua en el cantón de Pelileo en el Km. 11 Barrio el Tambo Central

**SIMBOLOS**

|  |                         |
|--|-------------------------|
|  | CANALES DE 30x25        |
|  | TUBERIA PVC             |
|  | DISTRIBUCIÓN HIDRÁULICA |
|  | DIRECCIÓN DEL FLUJO     |

Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

INDUSTRIA DE LAVADO Y TINTURADO DE JEANS RAM JEANS

Elaborado por:  
LUCIA MALUSIN

Fecha:  
2019/09/13

Lámina N°:  
**1/1**

REVISADO:

CONTIENE:

- \* PLANO ARQUITECTÓNICO
- \* INSTALACIONES HIDRÁULICAS

APROBADO:

Escala:  
1:200