

## **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

# **“ESTUDIO PARA MEJORAR LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS 1 Y 2 LOS PÁJAROS-SMAPA”**

## **OPCIÓN X MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL.**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

## **INGENIERÍA BIOQUÍMICA**

**Que Presenta:**

***CIRILO ALFONSO SARMIENTO VÁZQUEZ***

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS JUNIO DE 2015**

SEP

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

"2015, Año del Generalísimo José María Morelos Y Pavón"

DIRECCIÓN  
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 13 abril del 2015

OFICIO NUM. DEP-CT-528-2015


**C. CIRILO ALFONZO SARMIENTO VAZQUEZ**  
PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA  
EGRESADO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.  
PRESENTE.

Habiendo recibido la comunicación de su trabajo profesional por parte de los CC. M.C. JOSÉ HUMBERTO CASTAÑÓN GONZALEZ, DR. ARNULFO ROSALES QUINTERO, DR. ROCÍO MEZA GORDILLO Y DR. MIGUEL ABUD ARCHILA, En el sentido que se encuentra satisfactorio el contenido del mismo como prueba escrita, **AUTORIZO** a Usted a que se proceda a la impresión del mencionado Trabajo denominado:

**" ESTUDIO PARA MEJORAR LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LAS PLANTAS POTABILIZADORAS 1Y 2  
LOS PÁJAROS - SMAPA "**

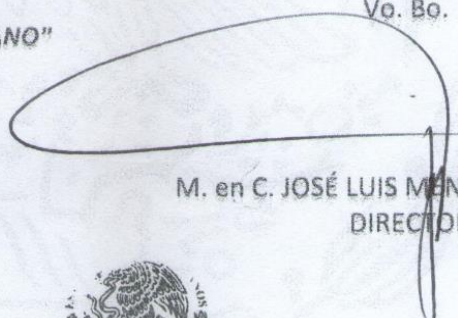
Registrado mediante la opción:  
**X (MEMORIA DE RESIDENCIA PROFESIONAL)**

**ATENTAMENTE**  
**"CIENCIA Y TECNOLOGÍA CON SENTIDO HUMANO"**

  
ING. JUAN JOSÉ ARREOLA ORDAZ  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE LA DIVISION DE  
ESTUDIOS PROFESIONALES

C.c.p.- Departamento de Servicios Escolares  
C.c.p.- Expediente  
I'JLMN/I'JJAO/I'eeam

Vo. Bo.

  
M. en C. JOSÉ LUIS MENDEZ NAVARRO  
DIRECTOR



Secretaría de Educ. Pública  
Instituto Tecnológico  
de Tuxtla Gutiérrez,  
Div. de Est. Profesionales



Carretera Panamericana Km. 1080, C.P. 29050, Apartado Postal 599  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Tels. (961) 61 54285, 61 50461  
[www.ittg.edu.mx](http://www.ittg.edu.mx)



# RECONOCIMIENTO

- Al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por ser una Universidad comprometida y emprendedora que apoya a este tipo de proyectos y que permite su realización.
- Al Laboratorio de control de la Calidad del Agua, ubicado en la planta potabilizadora No. 2 los pájaros del Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, por aceptarme en la realización de los análisis que se llevaron a cabo en este proyecto
- Al Ing. Juan Luis Paniagua Moguel por su apoyo incondicional en el desarrollo de las actividades, por su asesoría y la oportunidad que me brindo para trabajar en este proyecto.
- Al MC. José Humberto Castañón Gonzales por su apoyo profesional, asesoría y consejos para dar cumplimiento al término del proyecto.
- A mis asesores Dr. Arnulfo Rosales Quintero, y a la Dra. Roció Meza Gordillo por sus sugerencias para mejorar el trabajo reportado de Memoria de Residencia.
- El presente proyecto fue realizado en el laboratorio de control de calidad del agua, ubicado en las instalaciones de la planta potabilizadora no. 2 los pájaros-SMAPA, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México., bajo la asesoría y supervisión del ing. Juan Luis Paniagua Moguel.

# AGRADECIMIENTO

- A Dios por no abandonarme en los momentos difíciles de mi vida, porque a pesar de los obstáculos me dio el entendimiento y fortaleza para afrontarlos a lo largo de la carrera. Los logros obtenidos son el reflejo de su existencia.
- A mis padres por el apoyo incondicional e irreprochable que me brindaron por motivarme e impulsarme para seguir adelante, por la confianza y sobre todo por el regalo maravilloso de la educación y valores que formaron lo que ahora soy profesionalmente y humanamente.
- A mis hermanos por su apoyo, su comprensión y paciencia que me han tenido a lo largo de mis estudios.
- A mis amigos por brindarme verdaderamente su amistad y alentarme para lograr la meta.
- Al MC. Castañón por sus consejos y por representar gran importancia en el culmen de mi carrera, por ser una gran persona tanto profesionalmente como humanamente.
- A todos mis maestros que a lo largo de la carrera me otorgaron la instrucción académica para realizar una excelente formación y representar en alto a la institución tecnológica.
- Finalmente a los que representan la academia de ingeniería bioquímica por aceptar mi proyecto y brindarme la oportunidad de realizarme profesionalmente.

# CONTENIDO

|   | Pagina      |
|---|-------------|
| <b>CONTENIDO.....</b>   | <b>V</b>    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>   | <b>VII</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS.....</b>   | <b>VIII</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>  | <b>9</b>    |
| <b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....</b>                                       | <b>11</b>   |
| 1.1 JUSTIFICACIÓN .....   | 11          |
| 1.2 OBJETIVO.....   | 12          |
| 1.2.1 General .....   | 12          |
| 1.2.2 Específicos .....   | 12          |
| 1.3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPÓ.....                          | 13          |
| 1.3.1 Historia de las plantas potabilizadoras 1 y 2 los pájaros-SMAPA. .... | 13          |
| 1.3.2 Misión .....  | 15          |
| 1.3.3 Visión .....  | 15          |
| 1.3.4 Datos generales de la Empresa. ....                                   | 15          |
| 1.4 PROBLEMAS A RESOLVER .....  | 19          |
| 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES .....   | 19          |
| <b>CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>                                 | <b>20</b>   |
| 2.1 GENERALIDADES DEL AGUA.....   | 20          |
| 2.2 COMPOSICIÓN DEL AGUA.....   | 21          |
| 2.3 POTABILIZACIÓN DEL AGUA .....   | 22          |
| 2.4 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN .....  | 23          |
| 2.4.1 Captación .....   | 24          |
| 2.4.2 Conducción.....   | 24          |
| 2.4.3 Pre-sedimentación .....   | 25          |
| 2.4.4 Coagulación .....   | 25          |
| 2.4.5 Floculación.....  | 26          |
| 2.4.6 Decantación o Sedimentación .....                                     | 27          |
| 2.4.7 Filtración .....  | 28          |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4.8 Desinfección. ....   | 30        |
| <b>2.5 CALIDAD DEL AGUA .....</b>  | <b>31</b> |
| 2.5.1 Análisis físicos .....   | 32        |
| 2.5.1.1 Turbiedad.....   | 32        |
| 2.5.1.2 Temperatura .....  | 33        |
| 2.5.1.3 Olor y Sabor .....   | 33        |
| 2.5.2 Análisis químicos .....  | 34        |
| 2.5.2.1 Alcalinidad .....  | 34        |
| 2.5.2.2 pH.....  | 35        |
| 2.5.2.3 Dureza .....   | 36        |
| 2.5.2.4 Cloruros .....   | 39        |
| 2.5.2.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....   | 40        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS .....</b>   | <b>42</b> |
| <br>   |           |
| <b>3.1 Realización de los planos de las plantas potabilizadoras 1 y 2 con la Identificación de los procesos de tratamiento. ....</b>         | <b>42</b> |
| <br>   |           |
| <b>3.2 Estudio para la optimización de los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 1 y 2 Los Pájaros .....</b>                | <b>43</b> |
| 3.2.1 Estudio fisicoquímico .....  | 43        |
| 3.2.1.1 Estudio fisicoquímico de la planta potabilizadora 1 .....  | 43        |
| 3.2.1.2 Estudio fisicoquímico de la planta potabilizadora 2 .....  | 46        |
| 3.2.2 Estudio granulométrico de la arena de los filtros de la planta potabilizadora 2. ....  | 47        |
| <br>   |           |
| <b>3.3 Identificación de los procesos con baja eficiencia a través del el estudio de optimización de las plantas 1 y 2 Los Pájaros. ....</b> | <b>50</b> |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>  | <b>51</b> |
| <br>   |           |
| <b>4.1 Estudio para la optimización de los procesos de tratamiento de la planta potabilizadora 1 Los Pájaros. ....</b>                       | <b>51</b> |
| <br>   |           |
| <b>4.2 Estudio para la optimización de los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 2 Los Pájaros.....</b>                     | <b>56</b> |
| 4.2.1 Estudio Granulométrico de la arena de los 12 filtros de la planta potabilizadora 2. ....   | 63        |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>78</b> |
| <br>   |           |
| <b>5.1 Recomendaciones .....</b>   | <b>79</b> |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO VI. ANEXOS FOTOGRÁFICOS.....</b>   | <b>80</b> |
| <br>   |           |
| <b>CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>82</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS.

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación de la empresa SMAPA en Tuxtla Gutiérrez Chiapas.....                   | 16 |
| Figura 2. Instalaciones de la empresa SMAPA, en Tuxtla Gutiérrez.....                      | 17 |
| Figura 3. Ubicación del laboratorio de control de calidad dentro del edificio.....         | 18 |
| Figura 4. Molécula de agua. ....   | 21 |
| Figura 5. Enlaces de puente de hidrogeno.....  | 22 |
| Figura 6. Vista de la pantalla del Software utilizado AutoCAD 2011. ....                   | 42 |
| Figura 7. Imagen del plano de la planta potabilizadora 1. ....                             | 44 |
| Figura 8. Imagen del plano de la planta potabilizadora 2. ....                             | 46 |
| Figura 9. Reducción de la turbidez planta potabilizadora 1. ....                           | 54 |
| Figura 10. Eficiencia en la Reducción de la turbidez planta potabilizadora 1. ....         | 54 |
| Figura 11. Reducción de DQO planta potabilizadora 1.....                                   | 55 |
| Figura 12. Eficiencia en la Reducción de DQO planta potabilizadora 1.....                  | 55 |
| Figura 13. Reducción de la turbidez planta potabilizadora 2. ....                          | 60 |
| Figura 14. Eficiencia en la Reducción de la turbidez planta potabilizadora 2. ....         | 61 |
| Figura 15. Reducción de DQO planta potabilizadora 2.....                                   | 61 |
| Figura 16. Eficiencia en la Reducción de DQO planta potabilizadora 2.....                  | 62 |
| Figura 17. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 1. ....                           | 66 |
| Figura 18. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 2. ....                           | 67 |
| Figura 19. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 3. ....                           | 68 |
| Figura 20. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 4. ....                           | 69 |
| Figura 21. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 5. ....                           | 70 |
| Figura 22. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 6. ....                           | 71 |
| Figura 23. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 7. ....                           | 72 |
| Figura 24. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 8. ....                           | 73 |
| Figura 25. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 9. ....                           | 74 |
| Figura 26. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 10. ....                          | 75 |
| Figura 27. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 11. ....                          | 76 |
| Figura 28. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 12. ....                          | 77 |
| Figura 29. Limpieza de los filtros planta potabilizadora número 2.....                     | 80 |
| Figura 30. Limpieza de los sedimentadores planta número 2.....                             | 80 |
| Figura 31. Limpieza de las canaletas antes de sedimentación (después de floculación) ..... | 81 |



## ÍNDICE DE CUADROS.

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Carbones de clase antracítica.....   | 29 |
| Tabla 2. Clasificación de durezas.....  | 36 |
| Tabla 3. Tipos de cloruros. ....  | 39 |
| Tabla 4. Normas aplicadas.....  | 43 |
| Tabla 5. Serie de tamices normalizados.....   | 48 |
| Tabla 6. Especificaciones de la arena. ....   | 49 |
| Tabla 7. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 1.....                                 | 51 |
| Tabla 8. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 1.....                         | 52 |
| Tabla 9. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 1 después de su limpieza.....          | 53 |
| Tabla 10. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 1 después de su limpieza..... | 53 |
| Tabla 11. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 2. ....                               | 57 |
| Tabla 12. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 2. ....                       | 58 |
| Tabla 13. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 2 después de su limpieza.....         | 59 |
| Tabla 14. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 2 después de su limpieza..... | 60 |
| Tabla 15. Resultado general del análisis granulométrico. ....                                     | 64 |
| Tabla 16. Resultado general del análisis granulométrico. ....                                     | 65 |
| Tabla 17. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 1. ....                                       | 66 |
| Tabla 18. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 2. ....                                       | 67 |
| Tabla 19. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 3. ....                                       | 68 |
| Tabla 20. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 4. ....                                       | 69 |
| Tabla 21. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 5. ....                                       | 70 |
| Tabla 22. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 6.....  | 71 |
| Tabla 23. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 7. ....                                       | 72 |
| Tabla 24. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 8. ....                                       | 73 |
| Tabla 25. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 9. ....                                       | 74 |
| Tabla 26. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 10. ....                                      | 75 |
| Tabla 27. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 11. ....                                      | 76 |
| Tabla 28. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 12. ....                                      | 77 |



## INTRODUCCIÓN

---

Todo ser humano, ahora y en el futuro, debería disponer de suficiente agua limpia para beber y para higiene, y suficiente comida y energía a un costo razonable. Proporcionar agua suficiente para estas necesidades debe conseguirse de una manera equitativa que esté en armonía con la naturaleza. Porque el agua es la base de todos los ecosistemas y hábitats vivos y forma parte de un ciclo hidrológico inmutable que debe respetarse para que el desarrollo de la actividad y bienestar humano sea sostenible (Comisión Mundial del Agua, 2013).

Chiapas y sus ríos a través de la historia han sido de vital importancia para el asentamiento y desarrollo de las poblaciones humanas, debido a que aseguran el suministro de agua para sus ocupantes.

La potabilización del agua en Tuxtla Gutiérrez está considerada como uno de los servicios más importantes debido que sin el vital líquido no sobreviviríamos. Por ello se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.

El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad. Y hoy en la actualidad el abastecimiento del agua potable no es suficiente.

Por ende nos lleva a realizar el presente proyecto de residencia denominado "Estudio para optimizar los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 1 y 2. los pájaros-SMAPA", que busca optimizar la eficiencia de los procesos de tratamiento de la potabilización del agua del Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SMAPA).

EL SMAPA es una empresa de servicio, responsable del tratamiento, la distribución y del control de la calidad del agua que potabiliza.

Este estudio se llevó a cabo en el laboratorio de control de la calidad del agua de la planta potabilizadora 2, así como en las plantas de potabilización del agua 1 y 2 los pájaros-SMAPA, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, con el que se busca aumentar la eficiencia de los procesos de tratamientos.

La importancia de este estudio se debe a que hoy en día el abastecimiento a la comunidad tuxtleca no es eficiente debido a que las plantas 1 y 2 de los pájaros construidas en 1976 y 1980 respectivamente, trabajan entre las dos con un gasto de 440 L/s y se quiere aumentar la eficiencia de los procesos para lograr la potabilización de 1500 L/s que es la capacidad máxima que tienen entre las dos plantas y así poder abastecer continuamente a los 553,374 habitantes en términos generales(INEGI 2010).

Se realizan los siguientes estudios.

El estudio para optimizar los procesos de tratamiento consiste en la realización de análisis fisicoquímicos de los límites permisibles establecidos por la Norma NOM-127-SSA1-1994. "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

Un estudio granulométrico de los filtros de la planta potabilizadora 2 de los pájaros SMAPA debido a que tiene ya más de 15 años sin ser remplazada.

El objetivo de estos estudios es aumentar las eficiencias de los procesos de potabilización de ambas plantas para poder potabilizar los 1500 L/s que abastecerán a toda la comunidad tuxtleca.

## **CAPÍTULO I. GENERALIDADES**

---

### **1.1 JUSTIFICACIÓN**

Actualmente en SMAPA se requiere estudiar la eficiencia de los procesos de potabilización del agua y cómo aumentarla, para cubrir la demanda de agua que hay en la actualidad.

Los sistemas de tratamiento utilizados en las plantas 1 y 2 los pájaros SMAPA son insuficientes, y en muchos casos inapropiados debido al abandono de los procesos de potabilización y al nulo o mal mantenimiento que se le ha dado.

Dada esta problemática, se ha planteado revertir este hecho a partir de un estudio fisicoquímico, principalmente a partir de la floculación, aunada a etapas de sedimentación y filtración, esto con el fin de determinar las eficiencias de los procesos y conseguir aumentar la capacidad de producción de agua en dichos procesos para poder tratar los gastos deseados de 500 L/s en la planta 1 y de 1000 L/s en la planta 2 cumpliendo así con la demanda que genera la comunidad tuxtleca, dando validez a una calidad del agua desde su entrada al proceso hasta su distribución en los hogares.

Cabe mencionar que, la información generada en esta investigación podrá ser utilizada en el desarrollo para la mejor eficiencia en los procesos de potabilización.

## **1.2 OBJETIVO.**

### **1.2.1 General**

Realizar un diagnóstico fisicoquímico de las plantas potabilizadoras 1 y 2 de SMAPA, con la finalidad de conocer su funcionamiento y hacerlo más eficiente.

### **1.2.2 Específicos**

- Realizar un diagnóstico del funcionamiento de la arena de los filtros a través de pruebas fisicoquímicas y análisis granulométricos de la planta potabilizadora No.2 los pájaros-SMAPA.
- Realizar diagnóstico de eficiencia de los procesos de las plantas potabilizadoras 1 y 2 los pájaros-SMAPA.

### **1.3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN QUE PARTICIPÓ**

La parte experimental de este proyecto, que corresponde a la optimización de los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 1 y 2. Los pájaros-SMAPA, fue realizado en el laboratorio de Control de calidad ubicado en las instalaciones de la planta potabilizadora No. 2 los pájaros-SMAPA, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

#### **1.3.1 Historia de las plantas potabilizadoras 1 y 2 los pájaros-SMAPA.**

A finales del siglo XIX el abasto del agua en el viejo Tuxtla, se realizaba con la toma directa de sus arroyos y afluentes, siendo uno de los principales, el arroyo San Roque que nace en la meseta de Copoya donde sus habitantes la tomaban por medio de cántaros de barro, para llevarla hasta sus hogares.

En 1893, durante el gobierno de Emilio Rabasa, se procedió a captar y entubar el agua proveniente de los afluentes del zapotal, Cerro hueco y el Zope en las faldas del cerro Mactumatzá.

El crecimiento poblacional generado en 1937, exigió la construcción de una galería filtrante en la Chacona y su tubería de conducción.

Por lo que en 1940, el gobernador Rafael Pascasio Gamboa, completó este proyecto logrando así abastecer a la ciudad con 50 L/s a una población de más de 20,000 habitantes.

La demanda creció de 20,000 a 35,000 habitantes por lo que el gobernador Efraín Aranda Osorio en los años de 1954 a 1957, gestionó los recursos para la construcción de la galería filtrante, en el rio Santo Domingo que suministraría por bombeo y otra galería filtrante en la Chacona, con una nueva línea de conducción en la ciudad pasando de un suministro de 50 a 132 L/s.

De 1957 a 1970, la población se duplicaría a 71,000 habitantes, para ello la junta federal del agua potable instalo nuevos equipos de bombeos en las estaciones del rio Santo Domingo aprovechando su máxima capacidad de 200 L/s, Iniciando el programa

de seccionamiento de la red con tanques reguladores y la línea de conducción al tanque de la lomita con una capacidad de 3000 metros cúbicos.

Entre los años 1974 y 1975, se comenzaron a tener graves problemas en la galería filtrante del río Santo Domingo con la ruptura de los tubos de concreto que conformaba dicha galería, lo que provocó que se azolvara generando un caos en la ciudad, como no era posible realizar ningún trabajo en la galería por el riesgo de dejar sin agua a gran parte de la población tuxtleca, en 1976, el gobernador Manuel Velasco Suárez tomó la determinación de construir la planta potabilizadora número 1 en los pájaros, con una capacidad de 500 L/s.

En 1977, el gobernador Jorge de la Vega Domínguez inició la gestión para la construcción de una nueva obra de toma en el río Santo Domingo, e instalación de siete equipos de bombes verticales tipo turbina que alimentarían a la antigua línea de 20 y a la nueva de 24 pulgadas de diámetro de asbesto-cemento, conduciendo entre los dos 500 L/s hasta la planta potabilizadora número 1 los pájaros. Estas nuevas obras serían construidas durante el periodo del gobernador Salomón Gonzales Blanco en los años de 1978 a 1979, por medio de la SAOP.

En 1980, el gobernador Juan Sábines Gutiérrez consolidó la obra de toma del río Santo Domingo y con una visión a futuro construyó la obra complementaria que consistió en una nueva planta potabilizadora y una línea de conducción de 36 pulgadas de concreto reforzado con capacidad de 1000 L/s, conocida como planta potabilizadora número 2 los pájaros, garantizando así el abasto de agua potable a la ciudad en los últimos 20 años.

De 1999 a 2005, Tuxtla Gutiérrez tuvo un gran crecimiento demográfico que generó graves problemas de dispersión territorial en zonas que no contaban con infraestructura de servicio y acentuó el rezago en la dotación de agua.

En estos años el escaso abasto y distribución del agua potable era un problema para miles de familias tuxtlecas, la mayor parte de los habitantes de la ciudad tenían que comprar agua de dudosa procedencia suministradas por pipas que hacían de este grave problema social un gran negocio, la infraestructura hidráulica ya no era suficiente para

dotar de agua a una población que crecía desmedidamente y las viejas tuberías subterráneas que distribuían el agua estaban en tan mal estado que terminaron por colapsar al cumplir su vida útil (SMAPA 2013).

### **1.3.2 Misión**

Ofrecer a los usuarios un servicio de calidad en el suministro de agua potable y alcantarillado sanitario, concientizando a la población del uso y la preservación del agua como elemento indispensable en la vida.

### **1.3.3 Visión**

Consolidarse como uno de los mejores organismos a nivel nacional, con base en la ética de trabajo en equipo y tecnología de vanguardia, capaz de satisfacer las necesidades actuales y futuras de la comunidad.

### **1.3.4 Datos generales de la Empresa.**

Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado.

Carretera concretetera. Colonia Los Pájaros

C.P. 29096.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

Teléfonos: (961) 61- 4 - 29 - 68





## Instalaciones de las plantas potabilizadoras 1 y 2 los pájaros-SMAPA.

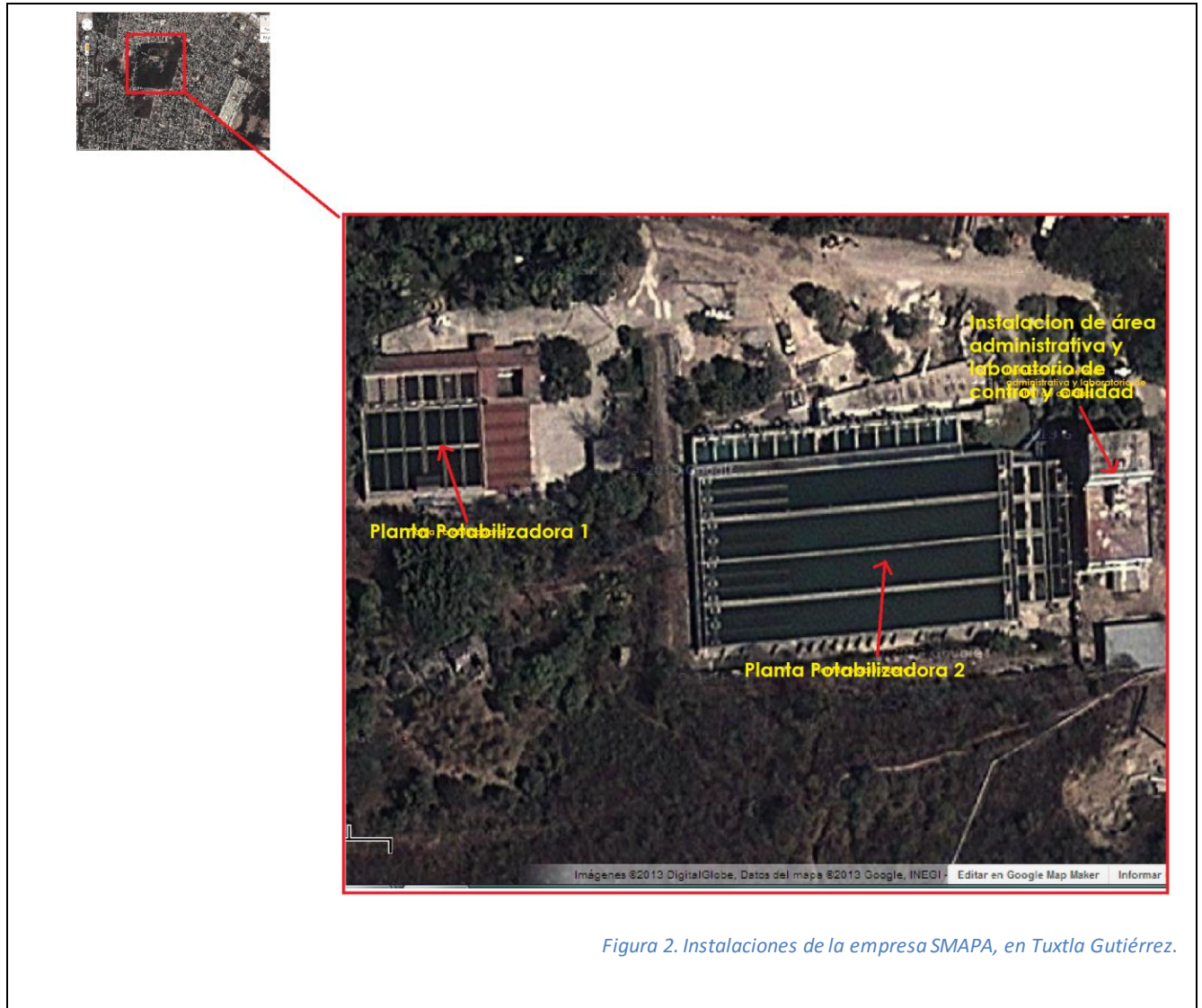


Figura 2. Instalaciones de la empresa SMAPA, en Tuxtla Gutiérrez.

### Edificio Administrativo.

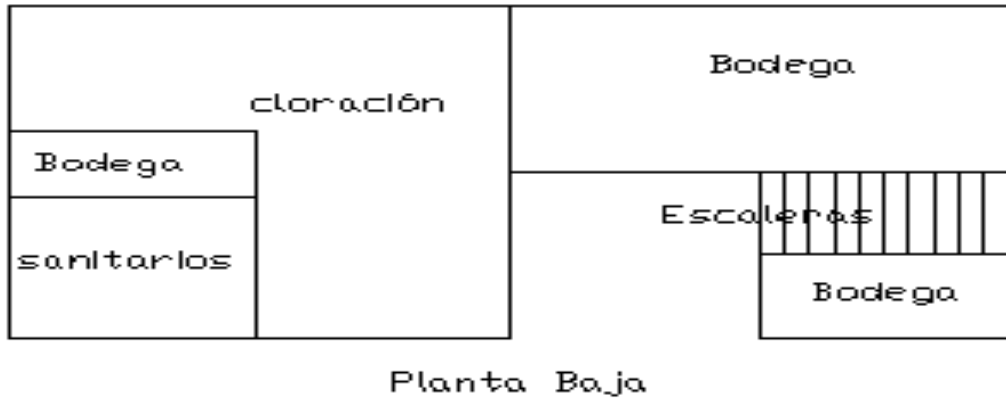


Figura 3. Ubicación del laboratorio de control de calidad dentro del edificio

## **1.4 PROBLEMAS A RESOLVER**

- Mediante la realización de este estudio se busca aumentar la eficiencia de los procesos de potabilización del agua.
- Con la determinación de la condición en que se encuentra la arena de los filtros de la planta potabilizadora 2 los pájaros-SMAPA se pretende establecer medidas correctivas para una mayor eficiencia.
- Determinar en qué procesos de la potabilización del agua se encuentran con baja eficiencia.

## **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES**

El presente proyecto está enfocado a los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 1 y 2 los pájaros-SMAPA debido a que se consideran como una de las plantas potabilizadoras que abastece a una gran parte la comunidad tuxtleca, donde se determinaron las propiedades fisicoquímicas del agua para realizar el estudio y así obtener los valores del comportamiento de cada uno de los procesos tanto en su entrada como en su salida, para llevar a cabo los cálculos necesarios para determinar la eficiencia de cada uno de los procesos. Una vez que se tienen los resultados de la eficiencia de cada uno de los procesos es posible saber si se puede aumentar su eficiencia.

Se analiza la arena de cada uno de los filtros de la planta potabilizadora 2, mediante análisis granulométrico para determinar las condiciones de la arena y mediante ello la eficiencia de la misma.

La mayor limitación que se puede encontrar en la realización de este estudio para optimizar los procesos de tratamiento de la planta potabilizadora 1 y 2 los pájaros-SMAPA, es la necesidad de realizar las pruebas fisicoquímicas del agua durante un año, esto debido a la temporada de estiaje que comprende la primera mitad del año y la temporada de lluvia que abarca la segunda parte del año, para obtener mayor cantidad de datos de los análisis fisicoquímicas y así llegar a resultados más exactos.

## CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

---

### 2.1 GENERALIDADES DEL AGUA

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida.

No es usual encontrar el agua pura en forma natural, aunque en el laboratorio puede llegar a obtenerse o separarse en sus elementos constituyentes, que son el hidrógeno (H) y el oxígeno (O). Cada molécula de agua está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, unidos fuertemente en la forma H-O-H.

El agua del planeta está principalmente almacenada en los océanos (97.39%). en los glaciares y banquisas (2.01%). Un porcentaje importante está contenido en las formaciones geológicas (0.54%). El remanente (0.06%) está constituido por aguas superficiales, que en una gran proporción (más de la mitad) son saladas y por lo tanto no potables. El agua dulce directamente disponible para el uso humano constituye menos de 0.02% de la hidrósfera. De esa cantidad, 95% está almacenada en los lagos, quedando solamente 0.001% para todos los ríos y arroyos.

Todo ser humano, ahora y en el futuro, debería disponer de suficiente agua limpia para beber y para higiene, y suficiente comida y energía a un costo razonable. Proporcionar agua suficiente para estas necesidades debe conseguirse de una manera equitativa que esté en armonía con la naturaleza. Porque el agua es la base de todos los ecosistemas y hábitats vivos y forma parte de un ciclo hidrológico inmutable que debe respetarse para que el desarrollo de la actividad y bienestar humano sea sostenible (Comisión Mundial del Agua Siglo XXI).

## 2.2 COMPOSICIÓN DEL AGUA.

El agua es un componente de nuestra naturaleza que ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3,800 millones de años, ocupando tres cuartas partes de la superficie del planeta. La molécula de agua ( $H_2O$ ) está formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Estos átomos no se encuentran alineados sino que se disponen formando un ángulo de  $104.5^\circ$ . Este valor se ha podido determinar mediante diversas técnicas como la difracción de rayos X, espectroscopia infrarroja, etc. El agua por tanto es una molécula angular donde cada átomo de hidrógeno se une al átomo de oxígeno mediante un enlace covalente, que se forma al compartir un par de electrones.



*Figura 4. Molécula de agua.*

Los electrones compartidos en los enlaces covalentes están más cerca del átomo de oxígeno que de los átomos de hidrógeno, al ser el oxígeno más electronegativo y atraer con mayor intensidad el par de electrones del enlace. Como consecuencia, habrá una carga parcial negativa ( $\delta^-$ ) sobre el átomo de oxígeno y una carga parcial positiva ( $\delta^+$ ) sobre los átomos de hidrógeno. El enlace formado es un enlace covalente polar y la molécula de agua se comporta como un dipolo.

Este carácter dipolar hace que exista una gran atracción entre las moléculas de agua y se unen entre sí por enlaces de puentes de hidrógeno.

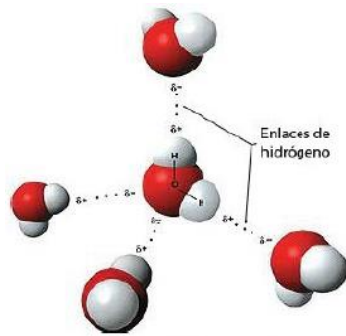


Figura 5. Enlaces de puente de hidrogeno.

Aunque son uniones débiles, el hecho de que alrededor de cada molécula de agua se dispongan otras cuatro moléculas unidas por puentes de hidrógeno permite que se forme en el agua (líquida o sólida) una estructura de tipo reticular, responsable en gran parte de su comportamiento anómalo y de la peculiaridad de sus propiedades fisicoquímicas.

## 2.3 POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo.

Al proceso de conversión de agua común en agua potable se le denomina potabilización. Suele consistir en un *stripping* (desfogación) de los compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono.

El objetivo de la purificación del agua en la naturaleza, es la eliminación total de: la turbiedad, color, olor, sabor, microorganismos, y ciertas sales de hierro, magnesio y otros elementos perjudiciales a la salud.

Por lo tanto el agua potable debe ser cristalina, incolora, inodora, libre de bacterias, mantener un residual de cloro en el orden de 0.40-0,60 Ppm, para proteger su calidad sanitaria y que su contenido de minerales disueltos no cause trastornos estomacales al consumidor.



Para obtener un agua potable que cumpla los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que establecen la organización mundial de la salud (OMS 2012), se requiere los siguientes factores:

- La fuente debe ser de gran volumen y de alta calidad sanitaria.
- Riguroso control de calidad de agua, durante todos los procesos de potabilización.
- Las unidades del sistema deben operar en condiciones normales de producción.

## **2.4 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN**

El tratamiento de las aguas presupone la aplicación de unos procesos básicos u operaciones unitarias, cuya utilización y secuencia, vendrán definidas por las características del agua a tratar y el grado de depuración que se deba conseguir.

En este marco, el término Procesos de potabilización es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico y químico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas para el consumo humano.

El proceso de potabilización comprende los siguientes procesos.

- Captación
- Conducción
- Pre-sedimentación
- Coagulación
- Floculación
- Decantación o Sedimentación
- Filtración
- Cloración o Desinfección.

### **2.4.1 Captación**

Se entiende por captación el punto o puntos de origen de las aguas para un abastecimiento, así como las obras de diferente naturaleza que deben realizarse para su recogida.

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques. El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (en verano el agua de nuestros ríos es más turbia que en invierno).

Las captaciones de aguas superficiales pueden ser:

- De agua de lluvia (pluviales)
- De arroyos y ríos
- De lagos o de embalses

### **2.4.2 Conducción**

Entre la captación y la planta de potabilización del agua, como entre esta y la red de distribución urbana, suele darse la necesidad de conducir ya sea el agua cruda o el agua tratada, o ambas, para salvar distancias y obstáculos naturales entre la fuente de suministro y los consumidores. El trazado y el tipo de conducción, en sus efectos sobre los suelos y la propiedad, son factores ambientales que deben ser convenientemente valorados en la etapa de diseño.

De acuerdo con lo establecido por la CONAGUA, Aducción es aquel componente a través del cual se transporta agua cruda, ya sea a flujo libre o presión y Conducción es el componente a través del cual se transporta agua tratada.

### **2.4.3 Pre-sedimentación**

Se basa en la teoría de la sedimentación de partículas discretas en un medio líquido sin preocuparse por ser partículas floculantes, pues lo único que importa es la acción de la gravedad actuando sobre la partícula en movimiento.

El hecho es que cualquier partícula con densidad mayor que la del agua será acelerada hacia abajo por acción de la gravedad, hasta que la resistencia del agua iguale al peso efectivo de la misma. Las fuerzas gravitatorias se equilibrarán con las fuerzas de arrastre de las partículas, momento en que la velocidad de sedimentación será casi constante, lo que dependerá del tamaño, del formato y de la densidad de la partícula. A este valor de la velocidad se denomina velocidad de sedimentación.

La teoría de la pre-sedimentación admite las siguientes hipótesis:

- Velocidad y flujo horizontales en la zona de sedimentación;
- Concentración uniforme de todos los tamaños de partículas;
- Las partículas son discretas y para tamaños iguales, igual velocidad de sedimentación;
- La sedimentación de cualquier partícula es libre, esto es, una no interfiere en la sedimentación de la otra, y
- No hay ascensión de las partículas ya depositadas al fondo del tanque.

La pre-sedimentación es empleada principalmente para:

- Disminuir el desgaste en las bombas.
- Disminuir la acumulación de depósitos de arena en plantas de tratamiento de agua.

### **2.4.4 Coagulación**

La coagulación química puede definirse como un proceso unitario usado para causar la coalescencia o agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua y de aguas residuales; es el proceso por el cual se reducen las

fuerzas repelentes existentes entre partículas coloidales para formar partículas mayores de buena sedimentación.

El proceso consiste en la adición de sustancias químicas al agua, para la formación de coágulos (grumos mezcla de sal coagulante con impurezas).

La coagulación prepara el agua para la floculación. La coagulación es el proceso más ampliamente usado para remover las sustancias que producen turbiedad en el agua. Las sustancias que producen turbiedad son a menudo inorgánicas, mientras que las que causan olor, sabor o color son generalmente orgánicas.

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa ( $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Al}^{+3}$ ) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación.

- Sales de  $\text{Fe}^{+3}$ : Pueden ser  $\text{Cl}_3\text{Fe}$  o  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.
- Sales de  $\text{Al}^{+3}$ : Suele ser  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ó policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.
- Polielectrolitos: Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor.

#### **2.4.5 Floculación**

Es la agrupación de las partículas descargadas, al ponerse en contacto unas con otras. Esta agrupación es favorecida por algunos productos químicos llamados floculantes. Los flóculos son retenidos en una fase posterior del tratamiento (decantación o sedimentación). En esta etapa, a diferencia de la anterior, es necesaria una agitación

también homogénea y muy lenta, con objeto de no romper los flóculos que se forman. El tiempo de residencia es de 10-30 min.

En los floculadores que pueden ser mecánicos o hidráulicos, se produce la mezcla entre el producto químico y el coloide que produce la turbiedad, formando los floculos.

#### **2.4.6 Decantación o Sedimentación**

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad; en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. La sedimentación se utiliza para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad. La sedimentación puede ser precedida por pre-sedimentación y aireación; generalmente va seguida de la filtración.

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y grado de floculación.

En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, o forma o peso cuando sedimentan, y partículas floculantes y precipitantes en las cuales la densidad y el volumen cambian a medida que ellas se adhieren unas a otras mediante mecanismo de floculación, precipitación, arrastre o barrido. La existencia de diferentes tipos de partículas en concentraciones distintas hace que sea necesario considerar tipos desiguales de sedimentación.

Tipos de sedimentación.

- Sedimentación tipo 1: Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculantes en una suspensión diluida.
- Sedimentación tipo 2: Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculantes.
- Sedimentación Zonal: Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento.

- **Compresión:** Ocurre cuando la concentración aumenta a un valor en que las partículas están en contacto físico unas con otra y el peso de ellas es sostenido parcialmente por la masa compactada.

#### **2.4.7 Filtración**

Es utilizada para lograr la clarificación final, a través de medios porosos; generalmente dichos medios son arena o arena y antracita.

En la planta potabilizadora la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de floculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección y, sin embargo son removibles mediante la filtración.

Generalmente se piensa de los filtros como de un tamiz o microcriba que atrapa el material suspendido entre los granos del medio filtrante sin embargo, la acción de colar, cribar o tamizar el agua es la menos importante en el proceso de filtración, puesto que la mayoría de las partículas suspendidas pueden pasar fácilmente a través de los espacios existentes entre los granos del medio filtrante.

Por ello la selección de un medio filtrante es determinada por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado.

Allen Hazen (1892) definió el tamaño efectivo, TE, como el tamaño de partículas o del grano, en mm, tal que un 10% del material en peso es más pequeño que dicho tamaño. En otras palabras él TE es el tamaño del tamiz, en mm, que permite el paso del 10% del medio filtrante. Él TE corresponde, aproximadamente, al tamaño promedio por conteo y es un parámetro usado para caracterizar medios filtrantes. De la misma manera, Hazen definió el coeficiente de uniformidad, CU, como la relación del tamaño de granos que tienen un 60% más fino que el mismo, al tamaño que tiene un 10% más fino que el mismo.

$$TE = d_{10}$$

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{\text{Tamaño de partícula del 60\% que pasa}}{\text{Tamaño de partícula del 10\% que pasa}} = \frac{d_{60}}{TE}$$

**Arena:** La arena es el medio filtrante más usado, posiblemente por ser el más económico. En filtros rápidos de arena la profundidad del lecho es de 60-70 cm, el TE de 0,45-0.55mm y el CU de 1.2-1.7

La arena para filtros debe tener una solubilidad en ácido clorhídrico al 40%, en 24 horas, menor del 5%; una densidad relativa mayor de 2.5, con un valor típico de TE de 0.50. Dicho medio permite tratar aguas con turbiedades de 5-10 NTU hasta de 120 NTU a la entrada del filtro.

**Antracita:** Se clasifica un carbón como antracítico cuando tiene carácter no aglomerante y cumple las especificaciones del cuadro 2.1

Tabla 1. Carbones de clase antracítica.

| Carbones de clase antracítica |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| <b>Grupo</b>                  | % material volátil |
| <b>Metaantracita</b>          | ≤ 2                |
| <b>Antracita</b>              | >2 y ≤ 8           |
| <b>Semiantracita</b>          | >8 y ≤ 14          |

En ocasiones se usa carbón de antracita triturado en vez de arena como medio granular filtrante, la antracita para filtros debe ser limpia, dura, con dureza mayor de 2.7 en la escala de MOHS, de densidad relativa mayor de 1.4, solubilidad en ácido menor del 1 % y coeficiente de uniformidad menor de 1.7.

En filtros de antracita se puede usar un lecho de 60-70 cm con tamaño efectivo de 0.70 mm o mayor.



### 2.4.8 Desinfección.

La etapa final del proceso de tratamiento de aguas potables siempre es la desinfección. En algunos casos en las plantas muy sencillas, ésta es la única etapa del proceso. Hay tres tipos básicos de desinfección: Tratamientos físicos, tratamientos químicos y radiación.

**Tratamientos físicos:** Son los menos utilizados, Dentro de este tipo de tratamientos se puede incluir la aplicación de calor pero además de ser costoso, deja mal sabor ya que elimina el oxígeno disuelto y las sales presentes en el agua. Otro de los procesos que se utilizan es el dejar pasar el tiempo, para que los gérmenes fecales disminuyan su concentración al ser el agua retenida en ambiente hostil.

**Tratamientos químicos:** Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono.

- ❖ Dentro de los que tenemos que el cloro en su forma gaseosa o como Hipoclorito de Sodio o Calcio es el más usado. La aceptación del cloro es debida a

3 factores:

- Su capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc.) que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las líneas de transmisión del agua.
  - La acción microbicida del cloro como algicida, bactericida y en menor medida virucida. Y la capacidad de mejorar los procesos de coagulación y floculación, ya que favorece la formación de flóculos.
  - Adicionalmente a las ventajas anteriores su uso es de bajo costo y es bastante seguro. El equipo que requiere para su dosificación no es sofisticado ni complejo.
- ❖ El Dióxido de Cloro ( $\text{ClO}_2$ ) es un gas relativamente inestable que se obtiene a partir de la mezcla de cloro con clorito sódico. Es relativamente inestable por lo que

normalmente se genera en el lugar de aplicación. Una de sus ventajas es que no se ve afectado por el pH e incluso aumenta su potencialidad frente a amebas y enterovirus.

- ❖ El Ozono constituye la tercera alternativa tras el cloro y el dióxido de cloro. La aplicación de ozono también requiere de aplicación in situ debido a su inestabilidad.

**Radiación:** Hay varias formas que pueden desempeñar un papel desinfectante. Las radiaciones más útiles son UV, los rayos X y los rayos  $\gamma$ . La radiación que más se utiliza es la UV debido a su costo, un inconveniente que tiene este tratamiento es su baja eficacia frente a la turbidez del agua.

## 2.5 CALIDAD DEL AGUA

El agua pura ( $H_2O$ ), en sentido estricto, no existe en la naturaleza debido a que es un excelente solvente. Por lo tanto, rara vez se encuentra en condiciones de ser utilizada directamente. El concepto de calidad del agua se relaciona con la naturaleza de ésta y con la concentración de impurezas que contenga. Las impurezas presentes en el agua son las que le proporcionan sus características.

Por lo general, las aguas de abastecimiento contienen las siguientes impurezas:

- En suspensión: bacterias, microorganismos (algas y protozoarios), arena, sílice y arcilla, y residuos industriales y domésticos.
- En estado coloidal: sustancias colorantes vegetales, y sílice.
- En disolución: sales de calcio y magnesio, sales de sodio, hierro, manganeso, y gases (oxígeno,  $CO_2$ , etcétera). Además de estas sustancias, las aguas presentan:
- sustancias de interés especial: flúor, yodo y sustancias radiactivas;
- sustancias que pueden causar envenenamiento: arsénico, cromo, cobre, plomo, etcétera, y
- sustancias que en exceso tienen un efecto laxante: magnesio, sulfatos y sólidos totales.

Por lo tanto, la calidad del agua se define según sus características, que son físicas, químicas y biológicas. Tales características se determinan mediante los siguientes procedimientos:

- ✓ Análisis físico,
- ✓ Análisis químico.

### **2.5.1 Análisis físicos**

El examen de estos parámetros da a conocer el olor, el sabor, la apariencia y aceptabilidad del agua de una manera general. Las determinaciones físicas más comunes son las siguientes:

- Turbiedad
- Temperatura
- Olor y sabor

#### **2.5.1.1 Turbiedad**

La turbidez es la dificultad del agua, para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

Existen diversos tipos de turbidímetros modernos dando valores numéricos prácticamente idénticos. En el pasado, la expresión estándar de turbiedad más usada fue la unidad de turbiedad de Jackson, UTJ, la cual es una cantidad empírica basada en el turbidímetro de Jackson es la observación de una bujía a través de una columna del agua ensayada, cuya longitud se aumenta hasta que la llama desaparece. Con una célula fotoeléctrica se mejora la medida. El aparato se puede calibrar mediante suspensiones de polímero de formacina, con lo cual se deriva a una escala en unidades de formacina.

Actualmente el método más usado para determinar la turbiedad es el método nefelométrico en el cual se emite la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados de turbiedad nefelométricas, UTN. Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersado por una suspensión estándar de referencia bajo las mismas condiciones de medida. Entre mayor sea la intensidad de luz dispersada mayor será la turbiedad.

#### **2.5.1.2 Temperatura**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamientos y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relaciona con la temperatura.

En estudios de polución de ríos, estudios limnológicos y en la identificación de la fuente de suministro en pozos, la temperatura es un dato necesario.

Para obtener buenos resultados la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo.

#### **2.5.1.3 Olor y Sabor**

El olor y sabor son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de observación, ni registro, ni unidades de medida. Tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano, ya que estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor. En el agua se pueden considerar cuatro sabores básicos: ácido, salado, dulce y amargo. El sabor se determina por sucesivas diluciones de la muestra original con agua inodora ( $T^a \approx 40\text{ }^\circ\text{C}$ ) hasta que es indetectable (umbral de percepción), siendo un ensayo muy subjetivo y de escasa reproducibilidad. Las muestras deben conservarse en vidrio un máximo de 6 h a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

## 2.5.2 Análisis químicos

La determinación de las propiedades químico de un agua natural o mineral, constituye una herramienta imprescindible para los hidrólogos, hidrogeólogos, carsólogos, geomorfólogos, ingenieros sanitarios y otros especialistas relacionados con el agua.

Los análisis químicos constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua. Entre los contaminantes químicos, los que generan especial inquietud son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinógenas.

### 2.5.2.1 Alcalinidad

La alcalinidad se refiere a la presencia de sustancias hidrolizables en agua y que como producto de hidrólisis generan el ión hidroxilo (OH<sup>-</sup>), como son las bases fuertes, y los hidróxidos de los metales alcalinotérreos; contribuyen también en forma importante a la alcalinidad los carbonatos y fosfatos. La presencia de boratos y silicatos en concentraciones altas también contribuyen a la alcalinidad del medio. En la práctica la contribución de estos es insignificante y puede ignorarse.

La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02N y se expresa como mg/l de carbonato de calcio equivalente a la alcalinidad determinada. Los iones (OH<sup>-</sup>) libres y los disociados por concepto de hidrolisis de carbonatos y bicarbonatos.

Las reacciones de hidrolización son los siguientes.



En la titulación con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.02N, los iones hidrogeno del ácido reaccionan con la alcalinidad de acuerdo con las siguientes ecuaciones.



Según lo anterior, la fenolftaleína y el metil naranja o el metacresol púrpura y el bromocresol verde son los indicadores usados para la determinación de la alcalinidad la fenolftaleína da un color rosado a pH mayor de 8.3 y vira a incolora a valores de pH menores a 8.3 el metil naranja es de color amarillo en presencia de las formas de alcalinidad o sea a pH mayor de 4.5 y vira a color naranja en condiciones acidas; el metacresol púrpura cambia de color a pH 8.3 y el bromocresol verde a pH 4.5.

### 2.5.2.2 pH

El pH es una medida de la concentración de iones hidrógeno, y se define como.  $\text{pH} = \log(1/[\text{H}^+])$  ó  $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ . Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

En las aguas subterráneas normalmente vamos a tener valores de pH entre 6 y 9, debido al efecto tampón del sistema  $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{CO}_3 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ .

Su medición se realiza fácilmente con un pHmetro (electrometría de electrodo selectivo) bien calibrado, conservando la muestra en frasco de polietileno o vidrio de borosilicato en nevera menos de 24 h, obteniendo la concentración en valores de pH comprendidos entre 1 y 14. Las aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de las piezas metálicas en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de 7 se denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (incrustaciones).

### 2.5.2.3 Dureza

Como aguas duras se consideran aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementan la temperatura del agua.

En términos de dureza las aguas pueden clasificarse así:

Tabla 2. Clasificación de durezas.

| Concentración | Clasificación      |
|---------------|--------------------|
| 0-75 mg/L     | Blanda             |
| 75-150 mg/L   | Moderadamente dura |
| 150-300 mg/L  | Dura               |
| >300 mg/L     | Muy dura           |

La dureza se expresa en mg/l como CaCO<sub>3</sub>.

En la mayoría de las aguas se consideran que la dureza total es aproximadamente igual a la dureza producida por los iones calcio y magnesio, es decir:

Dureza total = Dureza por Ca + Dureza por Mg

**Dureza carbonatada:** en aguas naturales los bicarbonatos son la principal forma de la alcalinidad; por lo tanto, la parte de la dureza total químicamente equivalente a los bicarbonatos presentes en el agua es considerada como la dureza carbonatada. Es decir:

Alcalinidad mg/l = dureza carbonatada mg/L

Dos casos pueden presentarse:

- Cuando la alcalinidad es menor que la dureza total; entonces,  
Dureza carbonatada mg/L = alcalinidad mg/L
- Cuando la alcalinidad es mayor o igual a la dureza total; entonces,  
Dureza carbonatada mg/L = dureza total mg/L



**Dureza no carbonatada:** se considera como no carbonatada toda dureza que no esté químicamente relacionada con los bicarbonatos. Es decir:

$$\text{Dureza no carbonatada} = \text{Dureza total} - \text{alcalinidad}$$

Se obtiene un valor negativo, el cual no representa dureza pero es comúnmente conocido como “dureza no carbonatada negativa”. Esto significa que existen más iones bicarbonatos de los necesarios para satisfacer los iones metálicos divalentes causantes de la dureza. El exceso de iones bicarbonatos está asociado con otros iones tales como  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ .

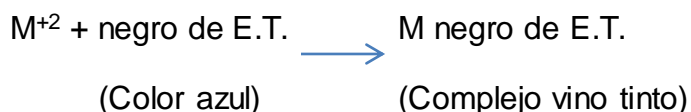
### **Método EDTA para determinar dureza**

El método supone el uso de soluciones de ácido etileno diaminotetraacético o de sus sales de sodio como agente titulador. Dichas soluciones forman “iones complejos solubles” con el calcio, magnesio y otros iones causantes de dureza.

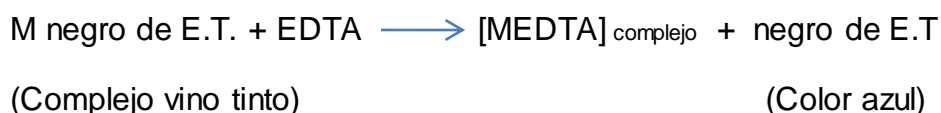
La reacción puede presentarse así:



El colorante cromo negro T, o ericromo negro T, sirve para indicar cuando todos los iones calcio y magnesio han formado complejo con EDTA. Cuando se añade una pequeña cantidad de ericromo negro T, color azul, a una agua dura con un  $\text{pH } 10.0 \pm 0.1$ , el indicador se combina con algunos iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  para formar un ion complejo débil de color vino es decir:



Durante la titulación con el EDTA todos los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  ( $\text{M}^{+2}$ ) libres forman complejos; finalmente el EDTA descompone el complejo débil vino tinto para formar un complejo más estable con los iones que causan dureza. Esta acción libera el indicador ericromo negro T y la solución pasa de color vino tinto a color azul lo cual indica el punto final de titulación.

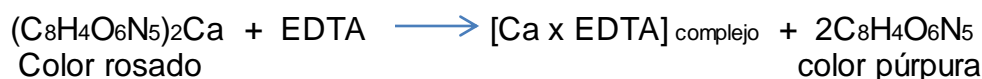


### Dureza por calcio.

Cuando se añade una solución de EDTA al agua que contiene tanto calcio como magnesio, el EDTA se combina primero con el calcio y luego con el magnesio. Si se eleva suficiente el pH para que el magnesio precipite, y se usa un indicador que solamente se combine con el calcio, se puede determinar directamente el contenido de calcio. El indicador usado es el purpurato de amonio o murexida,  $\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_6\text{N}_5(\text{NH}_4)$ , mezclado con cloruro de sodio. La reacción puede representarse en la forma siguiente, para la sal sódica del murexida:



Al añadir EDTA, este forma complejo primero con el calcio que estaba en la solución y luego con el que se había incorporado al indicador, haciéndolo volver a su color original e indicando el punto final de titulación.



Por razón del alto pH usado en este procedimiento, la titulación debe hacerse inmediatamente después de la adición del NaOH

## 2.5.2.4 Cloruros

El ion cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas. Las principales formas del cloro en aguas y su correspondiente número de oxidación son:

Tabla 3. Tipos de cloruros.

| compuesto                     | Nombre            | No. De Oxidación |
|-------------------------------|-------------------|------------------|
| HCl                           | Ácido Clorhídrico | -1               |
| Cl <sup>-</sup>               | Ion cloruro       | -1               |
| Cl <sub>2</sub>               | Cloro molecular   | 0                |
| HOCl                          | Ácido hipocloroso | 1                |
| OCl <sup>-</sup>              | Ion hipoclorito   | 1                |
| HClO <sub>2</sub>             | Ácido cloroso     | 3                |
| ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | Ion clorito       | 3                |
| ClO <sub>2</sub>              | Dióxido de cloro  | 4                |
| HClO <sub>3</sub>             | Ácido clórico     | 5                |
| ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Ion clorato       | 5                |

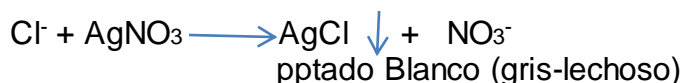
Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 19000 mg/L; constituye el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos.

### Determinación de cloruros, método de Mohr.

El método de Mohr emplea una solución de nitrato de plata para la titulación y el uso de una solución 0.0141 N. Esto corresponde a una solución N/71 o una en que cada ml es equivalente a 0.5 mg de ion cloruro. El método se basa en que en la titulación el ion cloruro es precipitado como cloruro de plata blanco.



La reacción puede representarse así:





Parte de los materiales orgánicos no se pueden degradar biológicamente porque resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega a ser tan lenta que son considerados como no biodegradables. Estos materiales son los pesticidas, insecticidas y herbicidas. Para conocer la cantidad de este tipo de materiales orgánicos no biodegradables se hace la prueba de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Junto con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se puede calcular la cantidad de orgánicos biodegradables presentes en el agua. Esto se puede lograr restando el valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) al valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

## CAPÍTULO III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

El presente proyecto de investigación denominado: Estudio para optimizar los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 1 y 2 Los Pájaros-SMAPA, se llevó a cabo en el laboratorio de control de calidad del sistema municipal de agua potable y alcantarillado de la colonia Los Pájaros en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, en el Estado de Chiapas.

### 3.1 Realización de los planos de las plantas potabilizadoras 1 y 2 con la Identificación de los procesos de tratamiento.

Dado que se busca optimizar los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 1 y 2 Los Pájaros-SMAPA, es necesario contar con el plano de las 2 plantas; como el plano que pudieron proporcionarme en la planta potabilizadora es un plano muy deteriorado, se tomaron medidas de las plantas potabilizadoras para poder dibujarlos en el software AutoCAD 2011, a través de estos poder identificar los procesos de tratamiento de las dos plantas potabilizadoras y los lugares de muestreos para el análisis fisicoquímico, para futuras modificaciones y optimización de los procesos.

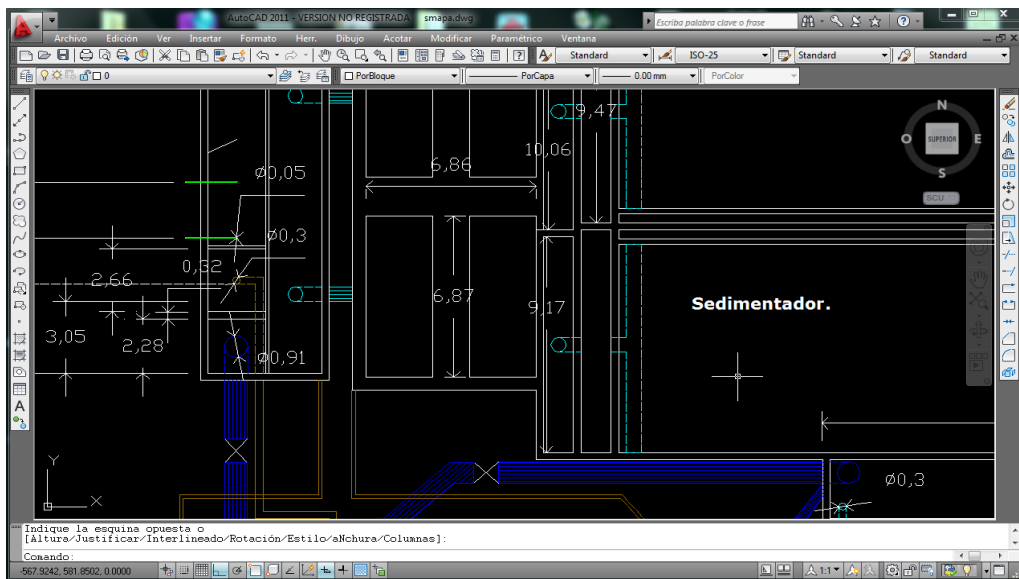


Figura 6. Vista de la pantalla del Software utilizado AutoCAD 2011.

## **3.2 Estudio para la optimización de los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 1 y 2 Los Pájaros.**

Para obtener datos y sustentar el estudio de optimización de los procesos de tratamiento del agua en las plantas potabilizadoras 1 y 2 Los Pájaros-SMAPA se realizaron estudios fisicoquímicos y granulométricos.

### **3.2.1 Estudio fisicoquímico**

El agua que se potabiliza fue analizada de acuerdo a los parámetros descritos en la norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, "salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

En la siguiente tabla se describe las determinaciones realizadas al agua en cada uno de sus procesos.

*Tabla 4. Normas aplicadas.*

| <b>Determinación</b> | <b>Norma</b>         |
|----------------------|----------------------|
| <b>Temperatura</b>   | NMX-AA-007-SCFI-2000 |
| <b>Ph</b>            | NMX-AA-008-SCFI-2011 |
| <b>Cloruros</b>      | NMX-AA-073-SCFI-2001 |
| <b>Alcalinidad</b>   | NMX-AA-036-SCFI-2001 |
| <b>Dureza Total</b>  | NMX-AA-072-SCFI-2001 |
| <b>DQO</b>           | NMX-AA-030-SCFI-2001 |

#### **3.2.1.1 Estudio fisicoquímico de la planta potabilizadora 1**

El estudio que se realizó en la planta potabilizadora 1, son los antes mencionados en los diferentes procesos que esta tiene.





Para obtener los datos se realizó muestreos cada 3 horas en el turno matutino de 8 horas siendo las siguientes:

- 6 : 00 am
- 9 : 00 am
- 12: 00 pm

Las muestras y los análisis fisicoquímicos fueron realizados siguiendo los criterios de las NMX ya mencionadas.

En esta planta de potabilización, debido a que el proceso de coagulación no se puede observar ya que se da dentro del tubo de entrada del agua cruda de 24 pulgadas, donde el sulfato de aluminio y el polímero son inyectados, no es posible analizarlo como un proceso definido, debido a esto, las muestras tomadas para cada análisis en las horas establecidas son en los siguientes puntos:

- Entrada del agua cruda
- Después de sedimentador (antes de filtros).
- Después de filtro (después de post cloración o antes de almacenamiento)

En esta planta potabilizadora, no se analiza el almacenamiento o la distribución del agua, debido a que en la cisterna se mezclan el agua tratada con el agua suministrada de la planta potabilizadora Ciudad del Agua, por lo tanto no se puede tomar como análisis propio del agua tratada en la planta potabilizadora 1.

### 3.2.1.2 Estudio fisicoquímico de la planta potabilizadora 2

El estudio que se realizó en la planta potabilizadora 2, son los antes mencionados en el apartado 3.2.1 Estudio fisicoquímico, en los diferentes procesos que esta tiene.

- Coagulación
- Floculación (cuenta con 4 unidades de floculación)
- Pre-cloración
- Sedimentación (compuesto por 4 sedimentadores)
- Filtración (con 12 cámaras de filtrado)
- Post-cloración
- Almacenamiento y distribución

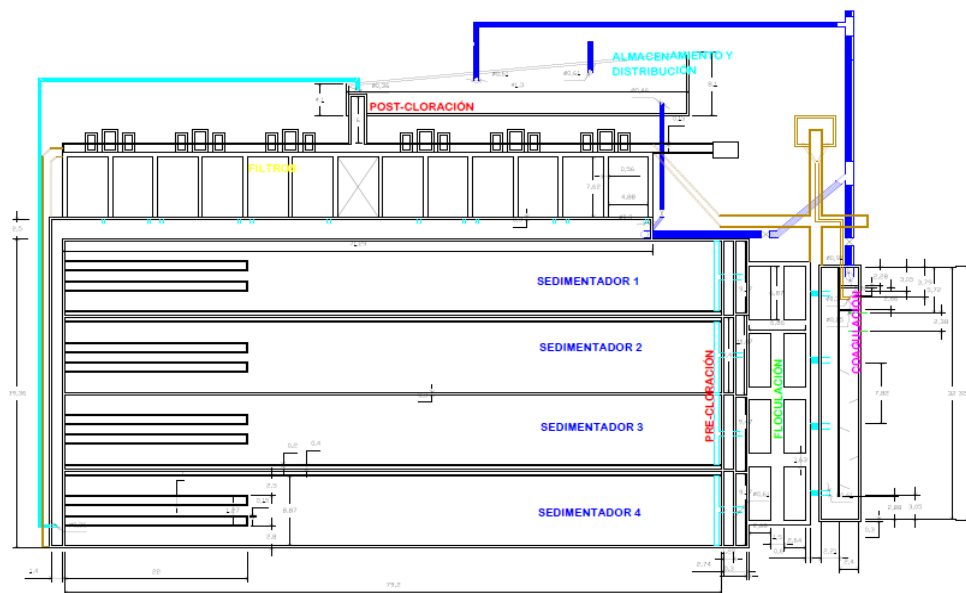


Figura 8. Imagen del plano de la planta potabilizadora 2.

Para obtener los datos se realizó muestreos cada 3 horas en el turno matutino de 8 horas siendo las siguientes:

- 6 : 00 am
- 9 : 00 am
- 12: 00 pm

Las muestras y los análisis fisicoquímicos fueron realizados siguiendo los criterios de las NMX ya mencionadas.

En esta planta de potabilización, a diferencia de la planta potabilizadora 1 el proceso de coagulación se observa donde el sulfato de aluminio y el polímero son dosificados. Por lo tanto se analiza como un proceso definido, debido a esto las muestras tomadas para cada análisis en las horas establecidas son los siguientes puntos:

- Entrada del agua cruda
- Después de coagulación (antes de floculación)
- Después de floculación (antes de sedimentadores)
- Después de sedimentador (antes de filtros).
- Después de filtro (después de post cloración o antes de almacenamiento)

En esta planta potabilizadora 2 al igual que en la planta potabilizadora 1 , no se analiza el almacenamiento o la distribución del agua por la misma causa.

### **3.2.2 Estudio granulométrico de la arena de los filtros de la planta potabilizadora 2.**

Para la realización de este estudio se tomaron los criterios de DQO, debido a que los resultados analizados antes de la filtración son menores a los resultados obtenidos después de la filtración. La cual nos indica que en el filtro la arena está siendo más permeable y por lo tanto las partículas floculantes que estaban retenidas están pasando el lecho filtrante debido al desgaste de esta por los años de uso y en algunas ocasiones se refleja en la turbiedad. Estos resultados serán discutidos en el siguiente capítulo.

El estudio de granulometría tiene por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo o arena filtrante en procesos de potabilización de acuerdo a su tamaño.

La distribución de las partículas con tamaño superior a 0.075 se determina mediante tamizado, con una serie de mallas normalizadas.

Para partículas menores que 0.075 mm, su tamaño se determina observando la velocidad de sedimentación de las partículas en una suspensión de densidad y viscosidad conocidas.

Para este análisis se utilizó tamices normalizados de los siguientes números.

*Tabla 5. Serie de tamices normalizados*

| <b>Tamiz</b> |                           |
|--------------|---------------------------|
| <b>No</b>    | <b>Abertura en<br/>MM</b> |
| <b>4</b>     | 4.76                      |
| <b>6</b>     | 3.36                      |
| <b>8</b>     | 2.36                      |
| <b>12</b>    | 1.7                       |
| <b>16</b>    | 1.18                      |
| <b>20</b>    | 0.85                      |
| <b>30</b>    | 0.6                       |
| <b>40</b>    | 0.425                     |
| <b>50</b>    | 0.3                       |
| <b>70</b>    | 0.212                     |
| <b>100</b>   | 0.15                      |
| <b>140</b>   | 0.106                     |
| <b>200</b>   | 0.074                     |

Y el cálculo que menciona Allen Hazen (1892)

Donde TE es el tamaño del tamiz, en mm, que permite el paso del 10% del medio filtrante.

También definió el coeficiente de uniformidad, CU, como la relación del tamaño de granos que tienen un 60% más fino que el mismo, al tamaño que tiene un 10% más fino que el mismo.

$$TE = d_{10}$$

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{\text{Tamaño de partícula del 60\% que pasa}}{\text{Tamaño de partícula del 10\% que pasa}} = \frac{d_{60}}{TE}$$

Donde nos menciona que él TE de 0,45-0.55mm y el CU de 1.2-1.7 para arena filtrante con una profundidad de lecho de 60-70 cm.

Considerando las especificaciones que utiliza la planta potabilizadora 2. Los pájaros-SMAPA:

*Tabla 6. Especificaciones de la arena.*

| <b>Tamiz</b>                      | <b>Especificaciones de la arena.</b> |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Retenido en Malla 16</b>       | 0                                    |
| <b>Retenido en Malla 20</b>       | 3 a 20                               |
| <b>Retenido en Malla 30</b>       | 45 a 70                              |
| <b>Retenido en Malla 40</b>       | 20 a 45                              |
| <b>Pasa M. 40</b>                 | 6 MAX                                |
| <b>Diámetro Efectivo</b>          | 0.45 a 0.60                          |
| <b>Coeficiente de Uniformidad</b> | 1.6 MAX.                             |

- La arena extraída de los filtros fue lavada con precaución para no perder las partículas más pequeñas.
- Se sometió a secado.
- Las muestras analizadas fueron de 100 g, pesadas en balanza analítica para mayor precisión.
- Se procedió a tamizar con los números de tamices mencionados, la arena retenida de cada tamiz fue pesada en balanza analítica.

**Nota:** este estudio solo fue realizado a los filtros de la planta potabilizadora 2 debido a que en ellos se visualizaron los problemas mencionados al principio de este apartado y por qué la arena utilizada es arena sílice, caso contrario de la planta potabilizadora 1 que utiliza como medio filtrante arena de río.

### **3.3 Identificación de los procesos con baja eficiencia a través del estudio de optimización de las plantas 1 y 2 Los Pájaros.**

Se tomaron las lecturas de gasto utilizando un sistema de caídas de presión, la lectura obtenida se lleva a unas tablas donde relacionan las caídas de presiones medidas en mm, esta tabla la proporciona la planta potabilizadora 2 ya que es el método que se utiliza para obtener los gastos.

Analizando todos los estudios realizados podemos determinar que procesos son los que se encuentran con baja eficiencia, como es el caso de los filtros de la planta potabilizadora 2.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Estudio para la optimización de los procesos de tratamiento de la planta potabilizadora 1 Los Pájaros.

Los estudios fisicoquímicos fueron realizados bajo las siguientes condiciones de la línea de proceso de potabilización del agua.

- Gasto: 100 L/s
- Pre-cloración: 10 Kg/día
- Post-cloración: 40 Kg/día.
- Sin adición de  $Al_2(SO_4)_3$  y polímero debido a que la turbiedad del agua cruda es menor a 10 NTU

El estudio fisicoquímico con su correspondiente desviación estándar (SD) que se le realizó al agua en sus diferentes procesos se presenta en la siguiente tabla.

*Tabla 7. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 1*

| Planta 1                         | E1             | AF             | DF             |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Cloruros [mg/L]                  | 52.65 ± 1.56   | 53.47 ± 1.93   | 53.35 ± 2.14   |
| Dureza total [mg/L]              | 292.62 ± 22.56 | 296.92 ± 18.84 | 298.46 ± 9.99  |
| Alc. A la fenolftaleína [ mg /L] | 1.54 ± 1.78    | 0.83 ± 1.28    | 0.50 ± 0.87    |
| Alc. Anaranjado de metilo [mg/L] | 222.62 ± 3.71  | 220.33 ± 3.64  | 219.50 ± 3.93  |
| Dureza de calcio [mg/L]          | 162.46 ± 40.48 | 155.33 ± 48.08 | 163.00 ± 49.37 |
| Dureza de Carbonatos [mg/L]      | 223.85 ± 3.46  | 221.46 ± 3.61  | 220.31 ± 3.99  |
| Cloro residual [mg/L]            | 0.00 ± 0.00    | 0.25 ± 0.26    | 0.22 ± 0.24    |
| Turbidez en NTU                  | 4.41 ± 1.08    | 4.03 ± 1.38    | 2.35 ± 1.20    |
| pH                               | 8.32 ± 0.05    | 8.30 ± 0.05    | 8.31 ± 0.06    |
| Temperatura °C                   | 22.96 ± 1.81   | 22.95 ± 1.73   | 22.87 ± 1.78   |
| DQO [mg/L]                       | 20.77 ± 1.38   | 16.89 ± 1.66   | 13.69 ± 1.20   |

E1: entrada; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

Podemos observar que la eficiencia de todo el proceso con respecto al agua de entrada y salida, después de todo el tratamiento fue el siguiente:

*Tabla 8. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 1*

| Planta 1                           | E1     | % E1 | AF     | % AF   | Eficiencia % | DF     | % DF respecto a AF | Eficiencia del Filtro % | % Salida respecto a la E1 | Eficiencia del proceso % |
|------------------------------------|--------|------|--------|--------|--------------|--------|--------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Dureza total [mg/L]</b>         | 292.62 | 100  | 296.92 | 101.47 | -1.47        | 298.46 | 100.52             | -0.52                   | 102.00                    | -2.00                    |
| <b>Dureza de calcio [mg/L]</b>     | 162.46 | 100  | 155.33 | 95.61  | 4.39         | 163.00 | 104.94             | -4.94                   | 100.33                    | -0.33                    |
| <b>Dureza de Carbonatos [mg/L]</b> | 223.85 | 100  | 221.46 | 98.93  | 1.07         | 220.31 | 99.48              | 0.52                    | 98.42                     | 1.58                     |
| <b>Turbidez en NTU</b>             | 4.41   | 100  | 4.03   | 91.44  | 8.56         | 2.35   | 58.39              | 41.61                   | 53.39                     | 46.61                    |
| <b>DQO [mg/L]</b>                  | 20.77  | 100  | 16.89  | 81.31  | 18.69        | 13.69  | 81.05              | 18.95                   | 65.90                     | 34.10                    |

E1: entrada; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

Los valores negativos nos indica que para cada uno de los procesos o todo el proceso, su eficiencia para cada uno de los parámetros fisicoquímicos es 0% debido a que no se le da el mantenimiento necesario y los valores positivos nos indican qué tanto fue reducido de su etapa inicial hasta su etapa final; podemos observar que todo el proceso está realizando su trabajo para reducir la turbidez de 4.41 NTU que se toma como el 100 % que entra en el proceso en las muestras realizadas a 2.35 NTU a la salida indicándonos como el 53.39 % del 100% señalado, y la resta de estos nos indica la eficiencia del proceso para disminuir la turbidez.

Se puede visualizar que la DQO reduce de un 100% a 65.90% indicándonos que la planta potabilizadora 1 tiene una eficiencia del 34.10% para reducir la cantidad de materia orgánica ya que la determinación de DQO es la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra. Y esta nos indica la eficiencia de las unidades de tratamiento.

Las concentraciones encontradas de estos parámetros fisicoquímicos están dentro de los límites permisibles indicados por las NMX y NOM mencionadas en el apartado (3.2.1).



Se realizó limpieza de los filtros y de los sedimentadores, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 9. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 1 después de su limpieza

| Planta 1    | E1      |        | Sed     |        | AF      |        | DF      |        |
|-------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| Temperatura | 26.4 ±  | 0.09   | 26.05 ± | 0.05   | 27.5 ±  | 0.17   | 27.46 ± | 0.05   |
| pH          | 8.31 ±  | 0.0384 | 8.22 ±  | 0.025  | 8.28 ±  | 0.0422 | 8.30 ±  | 0.0370 |
| Turbidez    | 2.1 ±   | 0.3049 | 1.79 ±  | 0.01   | 1.94 ±  | 0.1055 | 0.96 ±  | 0.5321 |
| DQO         | 24.75 ± | 1.5390 | 19.37 ± | 1.4573 | 13.78 ± | 1.1066 | 12.79 ± | 1.6435 |

E1: entrada; Sed: sedimentador; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

En base a los resultados obtenidos determinamos la eficiencia de cada uno de los procesos y la eficiencia general.

Tabla 10. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 1 después de su limpieza.

| Planta 1 | E1    | % E1   | Sed   | % sed resp. a E | Eficiencia. ncia. % | AF    | %AF resp. a sed | Eficiencia del Sed % | DF    | %DF resp. a AF | Eficiencia a del filtro % | % DF resp. a E1 | Eficiencia del proceso % |
|----------|-------|--------|-------|-----------------|---------------------|-------|-----------------|----------------------|-------|----------------|---------------------------|-----------------|--------------------------|
| Turbidez | 2.10  | 100.00 | 1.79  | 85.24           | 14.76               | 1.64  | 91.62           | 8.38                 | 0.96  | 58.54          | 41.46                     | 45.71           | 54.29                    |
| DQO      | 24.75 | 100.00 | 19.37 | 78.26           | 21.74               | 13.78 | 71.14           | 28.86                | 12.79 | 92.82          | 7.18                      | 51.68           | 48.32                    |

E1: entrada; Sed: sedimentador; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

Podemos observar como las eficiencias generales mejoran después de haber realizado la limpieza de los filtros y sedimentadores de una eficiencia de 46.61% a 54.29 en la reducción de la turbidez y de 34.10% a 48.32% en la reducción de materia orgánica.

Podemos observarlo mejor en las siguientes figuras:

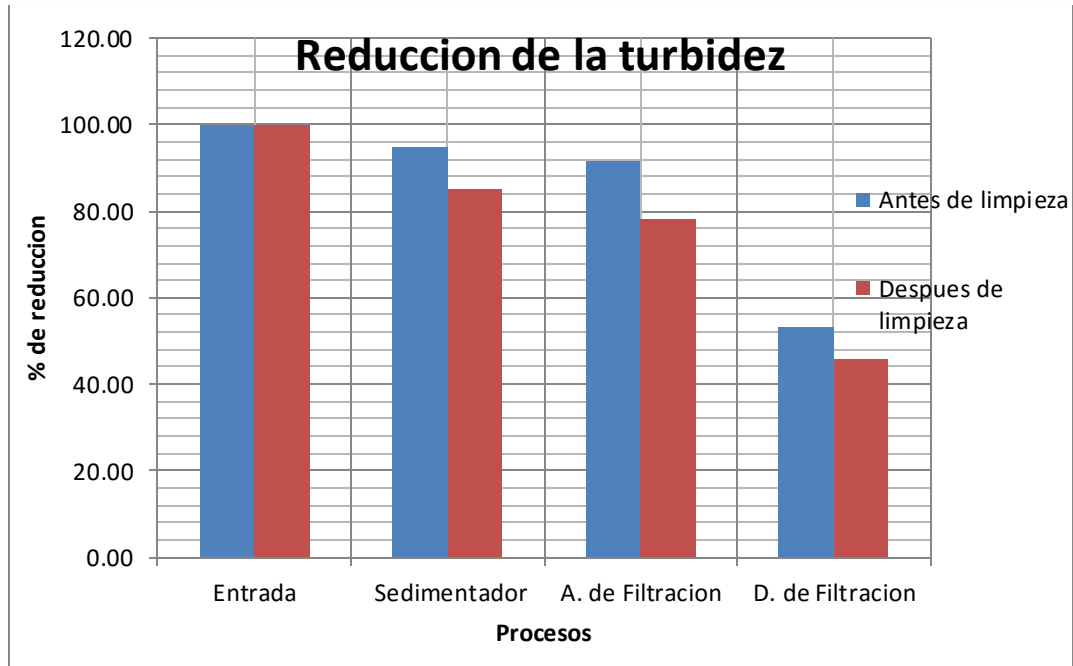


Figura 9. Reducción de la turbidez planta potabilizadora 1.

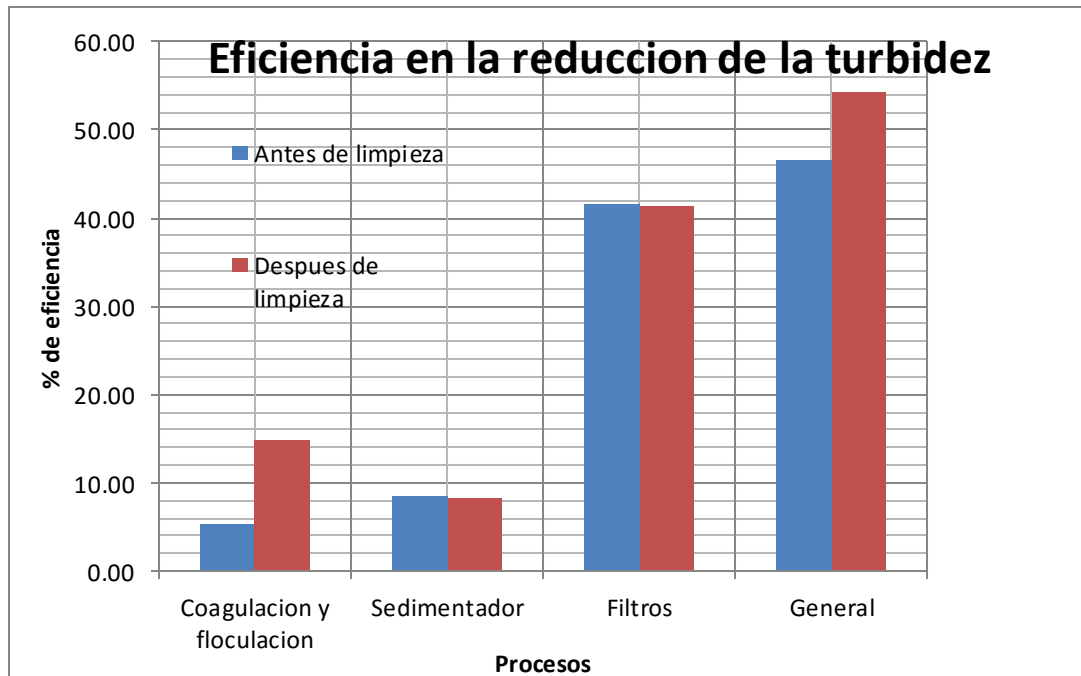


Figura 10. Eficiencia en la Reducción de la turbidez planta potabilizadora 1.

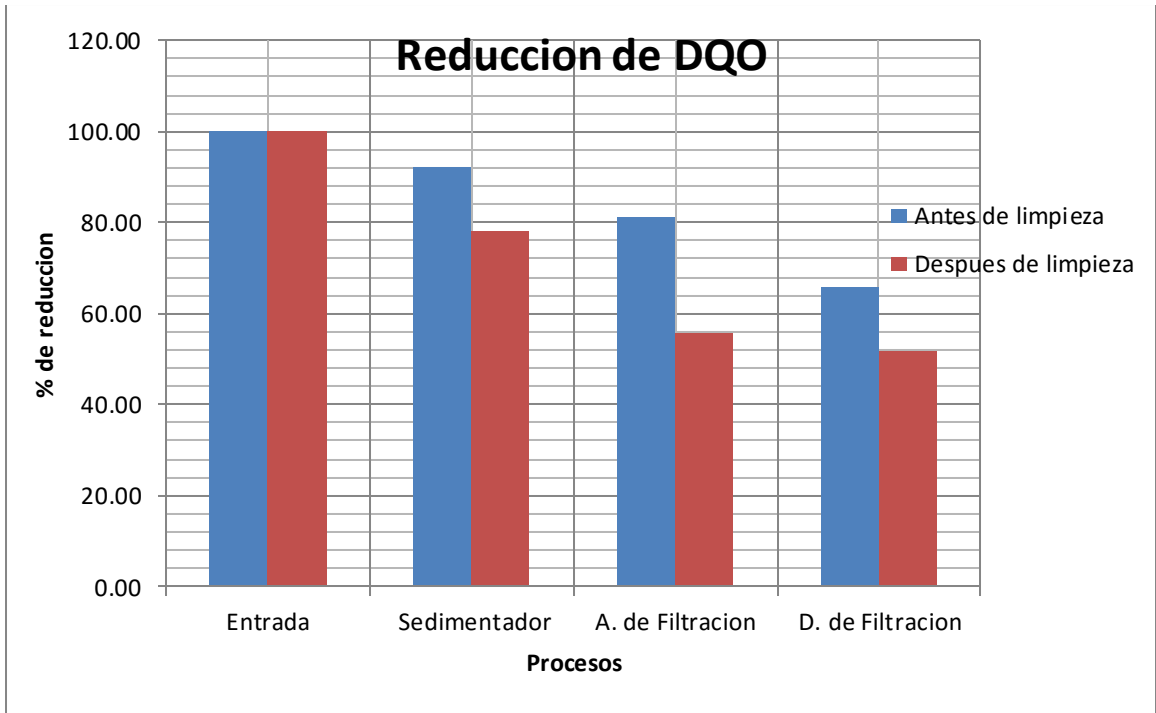


Figura 11. Reducción de DQO planta potabilizadora 1.

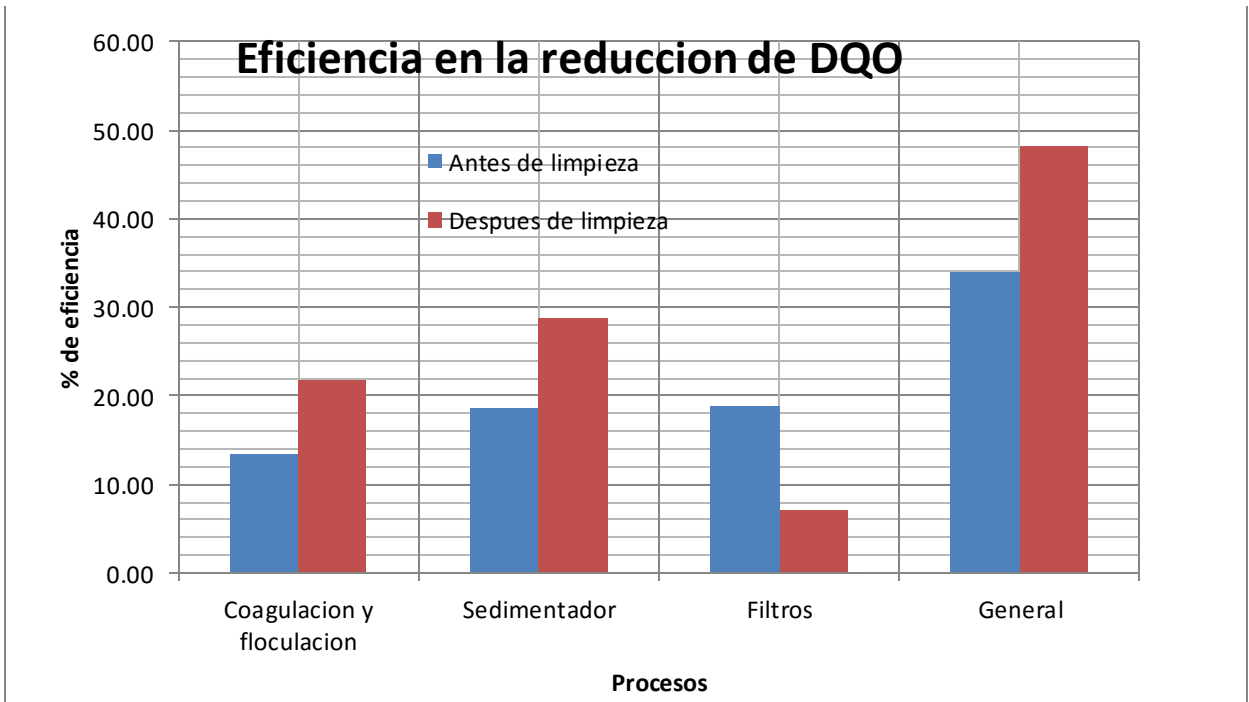


Figura 12. Eficiencia en la Reducción de DQO planta potabilizadora 1.

La eficiencia de los procesos de potabilización del agua de la planta 1, mejoran de una manera aceptable en términos de eficiencia general, se esperaba que después de la limpieza el proceso de filtrado aumentara su eficiencia pero observamos que no es así ya que de 41.61% a 41.46% en eficiencia para la reducción de turbidez y de 18.95% a 7.18% en eficiencia de reducción de materia orgánica (DQO), esto se debe a que la limpieza de la arena filtrante no fue correctamente realizada y solo se revolvió generando una baja eficiencia.

Estas eficiencias se pueden mejorar dando mantenimiento constante a cada uno de los procesos para lograr una eficiencia del 80 % y poner en funcionamiento la adición de sulfato, polímero y el funcionamiento completo de los sedimentadores, ya que se pretende trabajar con un flujo de 500 L/s

## **4.2 Estudio para la optimización de los procesos de tratamiento de las plantas potabilizadoras 2 Los Pájaros.**

Los estudios fisicoquímicos fueron realizados bajo las siguientes condiciones de la línea de proceso de potabilización del agua.

- Gasto: 340 L/s
- Pre-cloración: 50 Kg/día
- Post-cloración: 100 Kg/día.
- Sin adición de  $Al_2(SO_4)_3$  y polímero debido a que la turbiedad del agua cruda es menor a 10 NTU

El estudio fisicoquímico con su correspondiente desviación estándar (SD) que se le realizó al agua en sus diferentes procesos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 11. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 2.

| Planta 2                             | E2                    | A.Floc                | A.Sed.                | AF                    | DF                    |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cloruros [mg/L]                      | <b>53.14 ± 1.85</b>   | <b>53.92 ± 2.16</b>   | <b>53.69 ± 2.06</b>   | <b>55.80 ± 2.13</b>   | <b>56.12 ± 2.24</b>   |
| Dureza total [mg/L]                  | <b>304.31 ± 8.22</b>  | <b>296.00 ± 15.69</b> | <b>297.85 ± 13.00</b> | <b>305.54 ± 8.81</b>  | <b>310.15 ± 6.20</b>  |
| Alc. A la fenolftaleína [mg /L]      | <b>0.46 ± 0.84</b>    | <b>0.15 ± 0.53</b>    | <b>0.00 ± 0.00</b>    | <b>0.15 ± 0.53</b>    | <b>0.00 ± 0.00</b>    |
| Alc. Anaranjado de metilo<br>[mg /L] | <b>222.31 ± 4.14</b>  | <b>219.23 ± 4.41</b>  | <b>218.31 ± 5.19</b>  | <b>217.38 ± 3.63</b>  | <b>214.31 ± 2.58</b>  |
| Dureza de calcio [mg/L]              | <b>163.69 ± 49.35</b> | <b>155.08 ± 46.09</b> | <b>156.31 ± 39.27</b> | <b>169.54 ± 26.42</b> | <b>181.54 ± 14.76</b> |
| Dureza de Carbonatos [mg/L]          | <b>222.77 ± 4.12</b>  | <b>219.38 ± 4.32</b>  | <b>218.31 ± 5.19</b>  | <b>217.54 ± 3.86</b>  | <b>214.31 ± 2.58</b>  |
| Cloro residual [mg/L]                | <b>0.00 ± 0.00</b>    | <b>0.76 ± 0.46</b>    | <b>0.79 ± 0.41</b>    | <b>1.42 ± 0.43</b>    | <b>1.61 ± 0.53</b>    |
| Turbidez en NTU                      | <b>4.91 ± 2.21</b>    | <b>12.07 ± 10.68</b>  | <b>18.26 ± 22.57</b>  | <b>5.77 ± 2.00</b>    | <b>0.85 ± 0.31</b>    |
| pH                                   | <b>8.25 ± 0.09</b>    | <b>8.04 ± 0.17</b>    | <b>8.08 ± 0.12</b>    | <b>8.01 ± 0.08</b>    | <b>8.01 ± 0.06</b>    |
| Temperatura °C                       | <b>23.35 ± 1.60</b>   | <b>23.24 ± 1.59</b>   | <b>23.12 ± 1.70</b>   | <b>23.11 ± 1.66</b>   | <b>23.04 ± 1.69</b>   |
| DQO                                  | <b>28.92 ± 1.15</b>   | <b>95.81 ± 1.04</b>   | <b>172.07 ± 1.96</b>  | <b>23.91 ± 1.03</b>   | <b>39.28 ± 1.22</b>   |

E2: entrada; A.Floc: antes de floculo; A.Sed: antes de sedimentador; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

Podemos observar que la eficiencia de todo el proceso con respecto al agua que entra y al agua que sale después de todo el tratamiento es el siguiente.

Tabla 12. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 2.

| Planta 2                    | E2     | % E2 | A. Floc. | % A. Floc resp. A la E | % Eficiencia del coagulador | A. Sed. | % A. Sed resp. A Floc. | % eficiencia del Floculador. | AF     | % A.F. resp. A Sed. | % eficiencia del Sed. | D.F    | % D.F. Resp. A.F. | % Eficiencia del Filtro | % de D.F. resp. E | % Eficiencia del proceso |
|-----------------------------|--------|------|----------|------------------------|-----------------------------|---------|------------------------|------------------------------|--------|---------------------|-----------------------|--------|-------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| Dureza total [mg/L]         | 304.31 | 100  | 296.00   | 97.27                  | 2.73                        | 297.85  | 100.62                 | -0.62                        | 305.54 | 102.58              | - 2.58                | 310.15 | 101.51            | -1.51                   | 101.92            | -1.92                    |
| Dureza de calcio [mg/L]     | 163.69 | 100  | 155.08   | 94.74                  | 5.26                        | 156.31  | 100.79                 | -0.79                        | 169.54 | 108.46              | -8.46                 | 181.54 | 107.08            | -7.08                   | 110.90            | -10.90                   |
| Dureza de Carbonatos [mg/L] | 222.77 | 100  | 219.38   | 98.48                  | 1.52                        | 218.31  | 99.51                  | 0.49                         | 217.54 | 99.65               | 0.35                  | 214.31 | 98.51             | 1.49                    | 96.20             | 3.80                     |
| Turbidez en NTU             | 4.91   | 100  | 12.07    | 245.58                 | -145.58                     | 18.26   | 151.35                 | - 51.35                      | 5.77   | 31.58               | 68.42                 | 0.85   | 14.74             | 85.26                   | 17.30             | 82.70                    |
| DQO                         | 28.92  | 100  | 95.81    | 331.28                 | - 231.28                    | 172.07  | 179.59                 | -79.59                       | 23.91  | 13.90               | 86.10                 | 39.28  | 164.27            | -64.27                  | 135.80            | -35.80                   |

E2: entrada; A.Floc: antes de floculo; A.Sed: antes de sedimentador; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

Podemos observar que todo el proceso está realizando su trabajo para reducir la turbidez de 4.91 NTU que se toma como el 100 % que entra en el proceso en las muestras realizadas a 0.85 NTU a la salida indicándonos como el 17.30 % del 100% señalado, y la resta de estos nos indica la eficiencia del proceso para disminuir la turbidez, eficiencia del proceso para reducción de turbidez 82.70%.

Se puede visualizar que la DQO no reduce indicándonos que la planta potabilizadora 2 tiene una eficiencia del 0% para reducir la cantidad de materia orgánica.

Todas las pruebas fisicoquímicas fueron realizadas bajo las normas; NMX y NOM mencionadas en el apartado 3.2.1. La cual también nos indica que están dentro de los límites permisibles.

Los filtros no están trabajando correctamente al no darles un mantenimiento adecuado y por ende la eficiencia de los filtros es de -64.27% en reducción de materia orgánica, indicándonos que el proceso de filtrado está aumentando la materia orgánica en vez de reducirla

Por ello se llevó a realizar una limpieza de todo el proceso obteniendo los siguientes resultados.

*Tabla 13. Resultados del estudio fisicoquímico de la planta 2 después de su limpieza*

| <b>Planta 2</b>    | E2      |        | Afloc.  |        | Ased.   |        | AF      |        | DF      |        |
|--------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| <b>Temperatura</b> | 27.8 ±  | 0.3956 | 28.12 ± | 0.1096 | 28.23 ± | 0.1639 | 26.69 ± | 0.4009 | 26.91 ± | 0.4406 |
| <b>pH</b>          | 8.05 ±  | 0.0852 | 8.11 ±  | 0.0549 | 8.16 ±  | 0.0311 | 8.07 ±  | 0.0707 | 8.26 ±  | 0.0636 |
| <b>Turbidez</b>    | 2.80 ±  | 0.5293 | 2.13 ±  | 0.6066 | 1.80 ±  | 0.2923 | 1.02 ±  | 0.4527 | 0.52 ±  | 0.6580 |
| <b>DQO</b>         | 10.76 ± | 1.8390 | 15.07 ± | 1.2371 | 16.41 ± | 1.4512 | 6.80 ±  | 1.3587 | 10.15 ± | 1.9882 |

E2: entrada; A.Floc: antes de floculo; A.Sed: antes de sedimentador; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

En base a los resultados obtenidos determinamos la eficiencia de cada uno de los procesos y la eficiencia general (eficiencia del proceso).

Tabla 14. Eficiencia de los procesos de potabilización de la planta 2 después de su limpieza.

| Planta 2        | E2    | % E2 | Afloc. | % A. Floc resp. A E2 | % Eficiencia del coagulador | Ased. | % A. Sed resp. A Floc. | % eficiencia del Floculador. | AF   | % A.F. resp. A Sed. | % eficiencia del Sed. | DF    | % D.F. Resp. A.F. | % Eficiencia del Filtro | % de D.F. resp. E2 | % Eficiencia del proceso |
|-----------------|-------|------|--------|----------------------|-----------------------------|-------|------------------------|------------------------------|------|---------------------|-----------------------|-------|-------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|
| <b>Turbidez</b> | 2.80  | 100  | 2.13   | 76.07                | 23.93                       | 1.80  | 84.51                  | 15.49                        | 1.02 | 56.67               | 43.33                 | 0.52  | 50.98             | 49.02                   | 18.57              | 81.43                    |
| <b>DQO</b>      | 10.76 | 100  | 15.07  | 140.06               | -40.06                      | 16.41 | 108.89                 | -8.89                        | 6.80 | 41.44               | 58.56                 | 10.15 | 149.26            | -49.26                  | 94.33              | 5.67                     |

E2: entrada; A.Floc: antes de floculo; A.Sed: antes de sedimentador; AF: antes de filtro; DF: después de filtro.

Podemos observar como las eficiencias generales mejoran después de haber realizado la limpieza de los filtros y sedimentadores de una eficiencia de -35.8% a 5.67% en la reducción de materia orgánica (DQO) mientras que la eficiencia en reducción de turbidez se mantiene en el rango de 80 a 83 % de eficiencia (82.7% a 81.43%).

Podemos observarlo mejor en las siguientes gráficas.

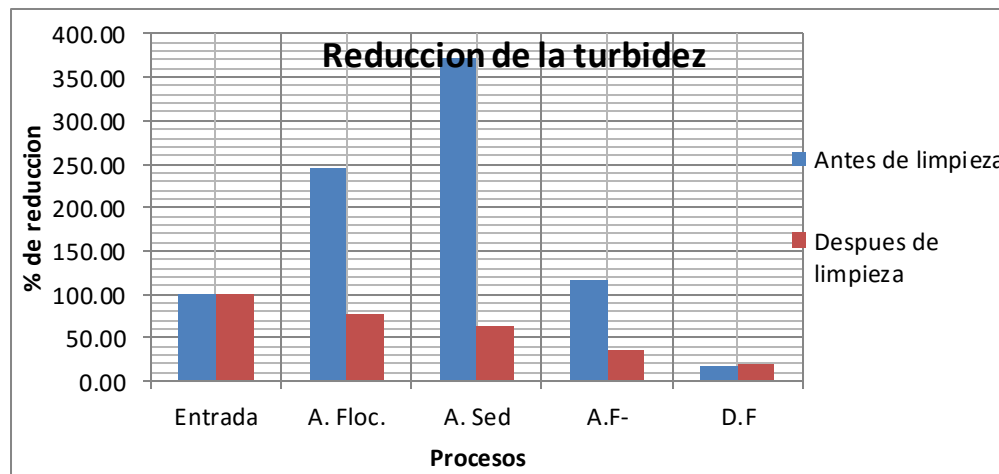


Figura 13. Reducción de la turbidez planta potabilizadora 2.



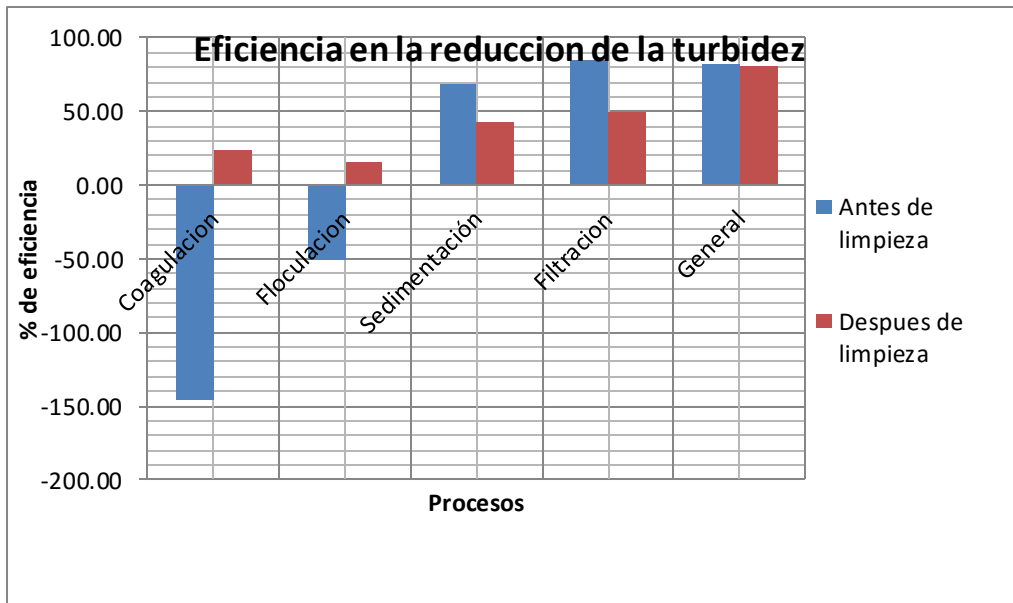


Figura 14. Eficiencia en la Reducción de la turbidez planta potabilizadora 2.

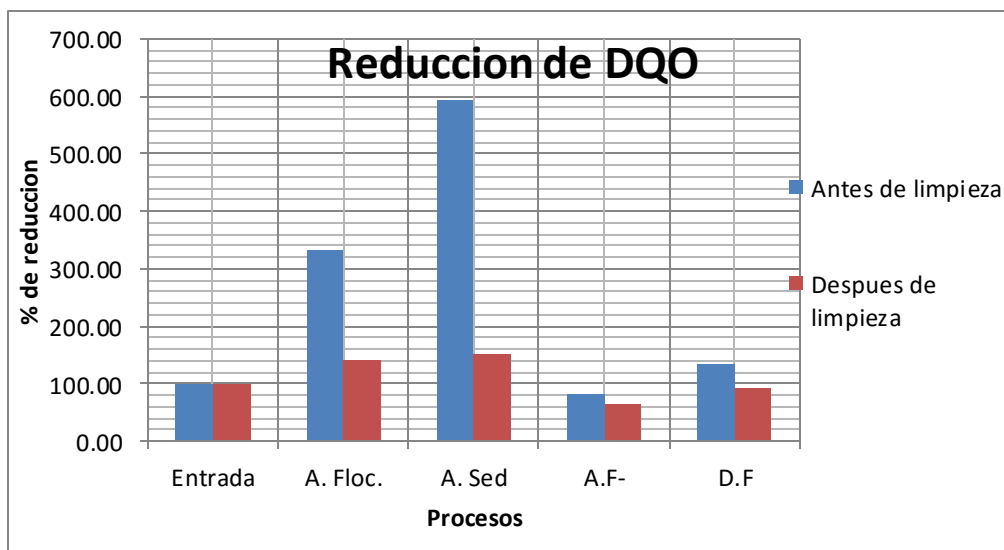


Figura 15. Reducción de DQO planta potabilizadora 2.

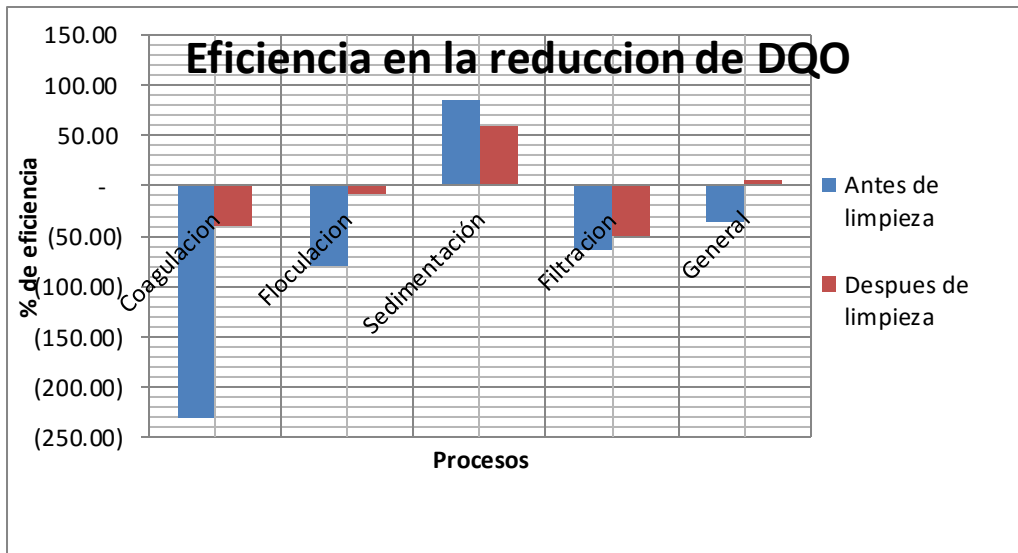


Figura 16. Eficiencia en la Reducción de DQO planta potabilizadora 2.

La eficiencia de los procesos de potabilización del agua de la planta 2, mejora de una forma no aceptable debido a que las eficiencias estaban por debajo del 0% y solo se alcanza a mejorar hasta un rango de 15 a 30 % en los procesos de coagulación y floculación en reducción de turbidez.

Mientras que en la eficiencia de reducción de materia orgánica solo se alcanza una mejora en términos de eficiencia general Indicándonos que solo tiene un 5.67% de eficiencia. Se visualiza que la eficiencia de los filtros en reducción de materia orgánica es baja, esta se debe a diversos factores uno de ellos es que la arena sílice que se utiliza ya tiene más de 15 años sin ser cambiada con ello lleva a un desgaste de la arena reduciendo su tamaño eficiente de partícula, la deficiente limpieza de los filtros al realizar el retro lavado, reteniendo partículas de materia orgánica que se van acumulando y pasando por la cámara de arena del filtro reflejándose en el análisis de DQO.

Esto nos lleva a realizar un análisis granulométrico de la arena de los 12 filtros para determinar el estado en que se encuentran esto lo revisaremos en el siguiente apartado.

Estas eficiencias se pueden mejorar dando mantenimiento constante a cada uno de los procesos para lograr una eficiencia del 80 %, poniendo en funcionamiento la adición de sulfato, polímero y el funcionamiento completo de los sedimentadores ya que se pretende trabajar con un flujo de 1000 L/S

#### **4.2.1 Estudio Granulométrico de la arena de los 12 filtros de la planta potabilizadora 2 Los Pájaros.**

Este estudio se realizó siguiendo el método mencionado en el apartado 3.2.2

Para obtener los valores de C.U (coeficiente de uniformidad), T.E (Tamaño efectivo de partículas), para poder realizar estos cálculos, a los resultados obtenidos del tamizado, al % acumulado que pasa se le aplicó un ajuste de curvas mediante LN(logaritmo natural).

Así obtenemos la ecuación que nos dará los valores de tamaño de partícula para el 10%, 60% y para el porcentaje acumulado que pasa en un diámetro de malla del 0.5 mm, este último para la determinación de la degradación de la arena, ya que en los últimos 15 años no se ha cambiado la arena filtrante.

Degradación = % acumulado que pasa en malla del 0.5 mm - 10% que es el T.E.

## Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 15. Resultado general del análisis granulométrico.

| Tamiz                              | FILTRO (Retenido Parcial %) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         | Especificaciones de la arena. |
|------------------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------------------|
|                                    | 1                           | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      |                               |
| <b>Malla 16</b>                    | 2.4426                      | 1.1660  | 1.1721  | 3.2249  | 1.6846  | 1.5132  | 0.9440  | 2.0649  | 0.6695  | 1.0333  | 2.7107  | 4.5366  | 0                             |
| <b>Malla 20</b>                    | 20.6121                     | 13.0695 | 13.6862 | 19.9426 | 21.0987 | 15.1647 | 12.7700 | 19.0511 | 9.3563  | 11.0865 | 19.6576 | 22.4405 | 3 a 20                        |
| <b>Malla 30</b>                    | 46.3702                     | 41.7715 | 39.8610 | 41.4178 | 35.7983 | 38.1153 | 41.0716 | 46.9283 | 35.5335 | 35.0834 | 44.7323 | 38.7442 | 45 a 70                       |
| <b>Malla 40</b>                    | 25.6743                     | 36.1105 | 34.4677 | 28.3963 | 29.0204 | 33.3671 | 35.8083 | 27.5139 | 41.6404 | 36.1532 | 28.5781 | 27.0839 | 20 a 45                       |
| <b>Pasa M. 40</b>                  | 4.9009                      | 7.8825  | 10.8130 | 7.0185  | 12.3981 | 11.8398 | 9.4062  | 4.4419  | 12.8003 | 16.6435 | 4.3213  | 7.1947  | 6 MAX                         |
| <b>Diámetro Efectivo</b>           | 0.4551                      | 0.4180  | 0.3664  | 0.4389  | 0.3642  | 0.3645  | 0.4108  | 0.4532  | 0.3578  | 0.3471  | 0.4521  | 0.4413  | 0.45 a 0.60                   |
| <b>Coefficiente de Uniformidad</b> | 1.6910                      | 1.7176  | 1.8949  | 1.7305  | 1.9682  | 1.9140  | 1.7314  | 1.6825  | 1.8628  | 1.9172  | 1.6928  | 1.7533  | 1.6 MAX.                      |
| <b>Degradación en %</b>            | 8.9656                      | 16.5562 | 24.3205 | 11.8909 | 23.3949 | 24.3545 | 17.9037 | 9.4495  | 26.8979 | 28.0338 | 9.5736  | 11.1217 |                               |

Podemos observar que la degradación de la arena sílice está en un rango general del 8% al 30% dando pauta a que la baja eficiencia de los filtros se debe a la arena que ya está dañada y degradada.

En la siguiente tabla se observa la arena de los filtros que no cumplen las especificaciones.

Tabla 16. Resultado general del análisis granulométrico.

| Tamiz                              | FILTRO (Análisis del cumplimiento de acuerdo a las especificaciones señaladas) |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | Especificaciones de la arena. |             |
|------------------------------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------------|-------------|
|                                    | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |                               |             |
| <b>Malla 16</b>                    | NO   | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO                            | 0           |
| <b>Malla 20</b>                    | NO   | SI | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO                            | 3 a 20      |
| <b>Malla 30</b>                    | SI   | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO                            | 45 a 70     |
| <b>Malla 40</b>                    | SI   | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI                            | 20 a 45     |
| <b>Pasa M. 40</b>                  | SI   | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | SI | NO | NO                            | 6 MAX       |
| <b>Diámetro Efectivo</b>           | SI   | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | SI | NO | NO                            | 0.45 a 0.60 |
| <b>Coefficiente de Uniformidad</b> | NO   | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO                            | 1.6 MAX.    |

La arena de los filtros no cumple las especificaciones por lo que se determina que la eficiencia de los filtros se debe a la degradación que ha tenido a través del uso que se le ha dado por 15 años.

De todos los filtros los únicos que se consideran dentro del rango límite de las especificaciones son los filtros número 1, 8 y el 11.

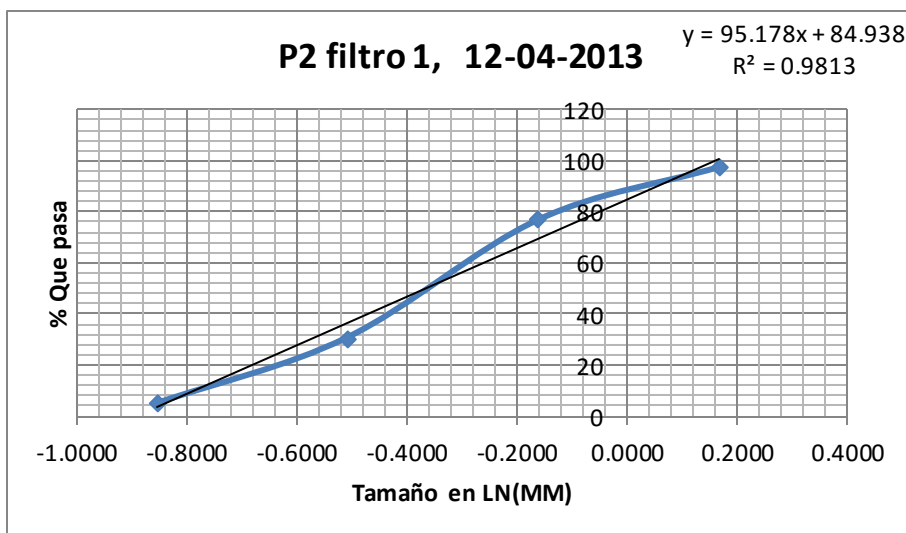
El análisis más detallado de cada arena de los filtros se visualiza en las siguientes tablas.

Características del filtro:

Lecho filtrante de arena sílice de 0.6 m de espesor, con una cantidad de arena sílice de 32.086 Toneladas con densidad de 1475.176 Kg/m<sup>3</sup> y cada cámara filtrante con un volumen de 21.7512 m<sup>3</sup>.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis: | 12/04/2013 |                            |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|--------------------|------------|----------------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      |                    |            |                            |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      | Planta 2, Filtro   | 1          |                            |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      | No:                |            |                            |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%)      |            | Especificaciones (Gramos). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido           | Que pasa   |                            |                   |
| 16                         | 1.18  | 2.4421              | 2.4426               | 2.4426             | 97.5574    | 0                          | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 20.608              | 20.6121              | 23.0547            | 76.9453    | 3 a 20                     | NO CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 46.361              | 46.3702              | 69.4248            | 30.5752    | 45 a 70                    | SI CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 25.6692             | 25.6743              | 95.0991            | 4.9009     | 20 a 45                    | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 4.3699              | 4.3708               | 99.4699            | 0.5301     | -                          | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.4768              | 0.4769               | 99.9468            | 0.0532     | -                          | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0418              | 0.0418               | 99.9886            | 0.0114     | -                          | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0056              | 0.0056               | 99.9942            | 0.0058     | -                          | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0015              | 0.0015               | 99.9957            | 0.0043     | -                          | -                 |
| Residuo                    | -     | 0.0043              | 0.0043               | 100.0000           | 0.0000     | 6 MAX                      | SI CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9802             | -                    | -                  | -          | -                          | -                 |

Tabla 17. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 1.



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.7695   |
| 10         | 0.4551   |
| 18.9656    | 0.5      |

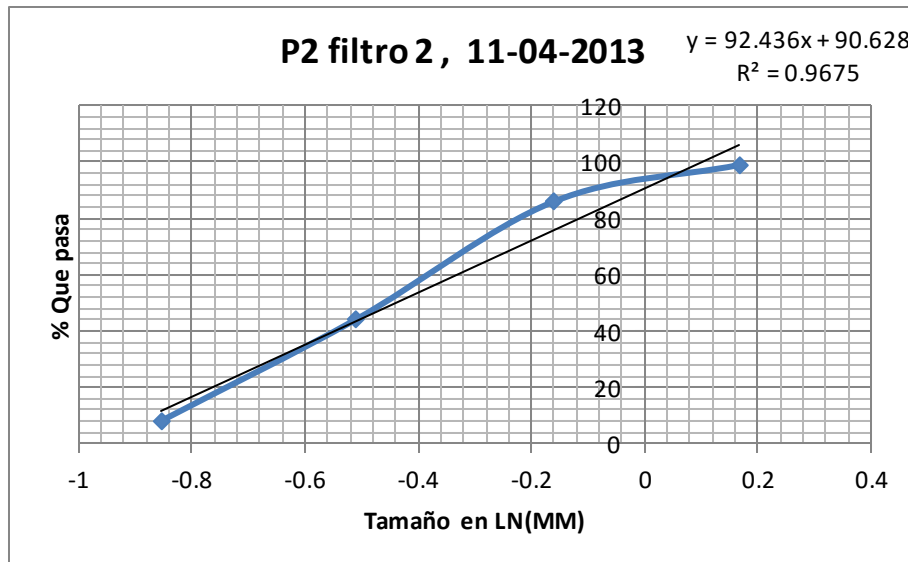
|         |        |
|---------|--------|
| C.U=    | 1.6910 |
| D.E.P.= | 0.4551 |

Figura 17. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 1.

Degradación de la arena en 8.9656 % con una velocidad de degradación del 0.5977 % de degradación/año.

Tabla 18. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 2.

| Descripción de la muestra: |       |              |                      | Arena Sílice.       |          | Fecha de análisis:   | 11/04/2013        |
|----------------------------|-------|--------------|----------------------|---------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       |              |                      | Filtración de Agua. |          |                      |                   |
| Análisis efectuado:        |       |              |                      | Granulometría.      |          | Planta 2, Filtro No: | 2                 |
| Peso de la muestra:        |       |              |                      | 100 g               |          |                      |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g) | Retenido parcial (%) | Acumulado (%).      |          | Especificaciones (g) | Especificaciones. |
| No                         | MM    |              |                      | Retenido            | Que pasa |                      |                   |
| 16                         | 1.18  | 1.166        | 1.1660               | 1.1660              | 98.8340  | 0                    | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 13.0694      | 13.0695              | 14.2356             | 85.7644  | 3 a 20               | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 41.771       | 41.7715              | 56.0070             | 43.9930  | 45 a 70              | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 36.1101      | 36.1105              | 92.1175             | 7.8825   | 20 a 45              | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 7.1627       | 7.1628               | 99.2803             | 0.7197   | -                    | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.641        | 0.6410               | 99.9213             | 0.0787   | -                    | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0724       | 0.0724               | 99.9937             | 0.0063   | -                    | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0044       | 0.0044               | 99.9981             | 0.0019   | -                    | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0012       | 0.0012               | 99.9993             | 0.0007   | -                    | -                 |
| Residuo                    | -     | 0.0007       | 0.0007               | 100.0000            | 0.0000   | 6 MAX                | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9989      | -                    | -                   | -        | -                    | -                 |



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.7180   |
| 10         | 0.4180   |
| 26.5562    | 0.5      |

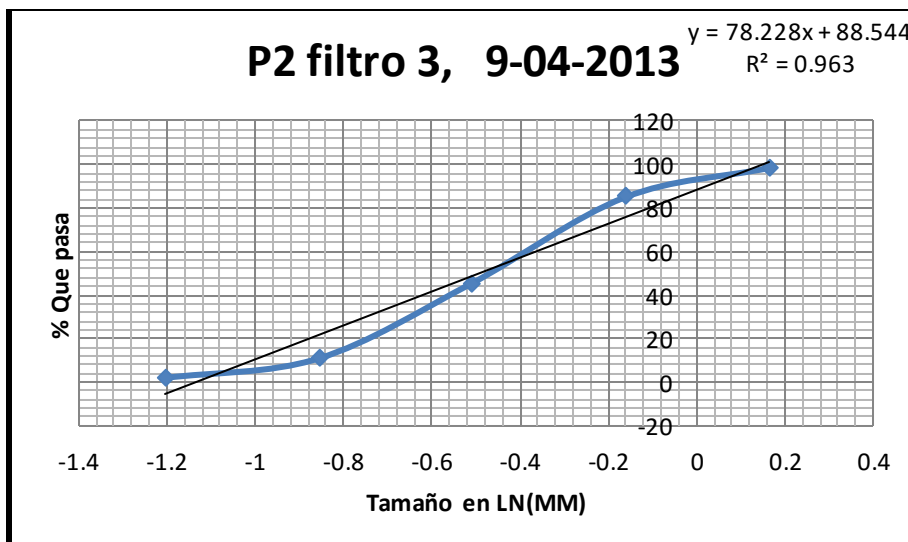
|         |        |
|---------|--------|
| C.U.=   | 1.7176 |
| D.E.P.= | 0.4180 |

Figura 18. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 2.

Degradación de la arena en 16.5562% con una velocidad de degradación del 1.1037 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis:   | 09/04/2013 |                       |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      | Planta 2, Filtro No: | 3          |                       |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      |                      |            |                       |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      |                      |            |                       |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%)        |            | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido             | Que pasa   |                       |                   |
| 16                         | 1.18  | 1.172               | 1.1721               | 1.1721               | 98.8279    | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 13.6845             | 13.6862              | 14.8583              | 85.1417    | 3 a 20                | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 39.8562             | 39.8610              | 54.7193              | 45.2807    | 45 a 70               | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 34.4635             | 34.4677              | 89.1870              | 10.8130    | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 9.0036              | 9.0047               | 98.1917              | 1.8083     | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 1.6215              | 1.6217               | 99.8134              | 0.1866     | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.176               | 0.1760               | 99.9894              | 0.0106     | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0086              | 0.0086               | 99.9980              | 0.0020     | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.002               | 0.0020               | 100.0000             | 0.0000     | -                     | -                 |
| Residuo                    | -     | -                   | -                    | -                    | -          | 6 MAX                 | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9879             | -                    | -                    | -          | -                     | -                 |

Tabla 19. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 3.



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.6943   |
| 10         | 0.3664   |
| 34.3205    | 0.5      |

|         |        |
|---------|--------|
| C.U=    | 1.8949 |
| D.P.E.= | 0.3664 |

Figura 19. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 3.

Degradación de la arena en 24.3205% con una velocidad de degradación del 1.6214 % de degradación/año.



| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis:   | 04/04/2013 |                       |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      |                      |            |                       |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      | Planta 2, Filtro No: | 4          |                       |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      |                      |            |                       |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%)        |            | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido             | Que pasa   |                       |                   |
| 12                         | 1.7   | 0.137               | 0.1370               | 0.1370               | 99.8630    | -                     | -                 |
| 16                         | 1.18  | 3.0874              | 3.0879               | 3.2249               | 96.7751    | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 19.9396             | 19.9426              | 23.1675              | 76.8325    | 3 a 20                | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 41.4115             | 41.4178              | 64.5853              | 35.4147    | 45 a 70               | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 28.392              | 28.3963              | 92.9815              | 7.0185     | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 6.1512              | 6.1521               | 99.1337              | 0.8663     | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.7587              | 0.7588               | 99.8925              | 0.1075     | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0868              | 0.0868               | 99.9793              | 0.0207     | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0151              | 0.0151               | 99.9944              | 0.0056     | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0025              | 0.0025               | 99.9969              | 0.0031     | -                     | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0031              | 0.0031               | 100.0000             | 0.0000     | 6 MAX                 | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9849             | -                    | -                    | -          | -                     | -                 |

Tabla 20. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 4.

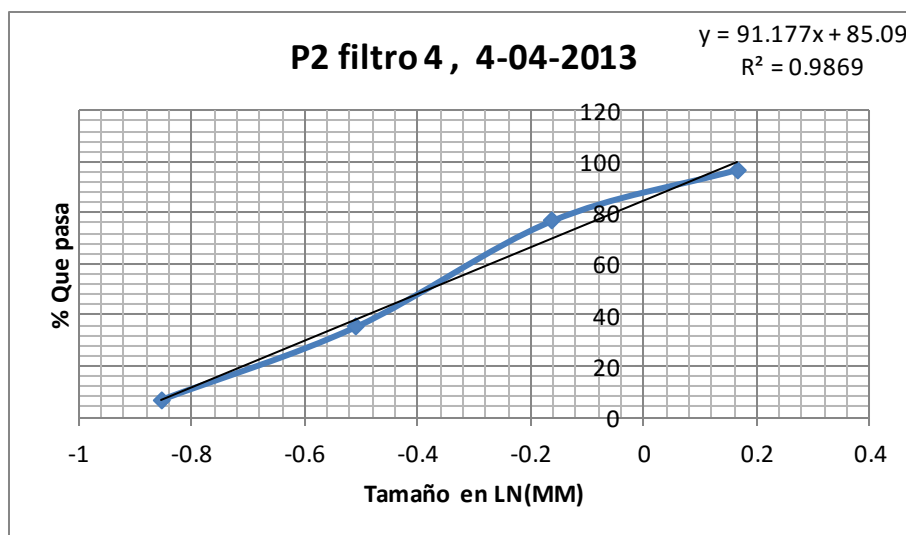


Figura 20. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 4.

Degradación de la arena en 11.8909% con una velocidad de degradación del 0.7927 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis: | 04/04/2013 |                       |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|--------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      |                    |            |                       |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      | Planta 2, Filtro   | 5          |                       |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      | No:                |            |                       |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%)      |            | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido           | Que pasa   |                       |                   |
| 12                         | 1.7   | 0.0164              | 0.0164               | 0.0164             | 99.9836    | -                     | -                 |
| 16                         | 1.18  | 1.6681              | 1.6682               | 1.6846             | 98.3154    | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 21.098              | 21.0987              | 22.7832            | 77.2168    | 3 a 20                | NO CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 35.7972             | 35.7983              | 58.5815            | 41.4185    | 45 a 70               | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 29.0195             | 29.0204              | 87.6019            | 12.3981    | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 8.4404              | 8.4407               | 96.0426            | 3.9574     | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 2.2489              | 2.2490               | 98.2915            | 1.7085     | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 1.1154              | 1.1154               | 99.4070            | 0.5930     | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.5217              | 0.5217               | 99.9287            | 0.0713     | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0706              | 0.0706               | 99.9993            | 0.0007     | -                     | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0007              | 0.0007               | 100.0000           | 0.0000     | 6 MAX                 | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9969             | -                    | -                  | -          | -                     | -                 |

Tabla 21. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 5.

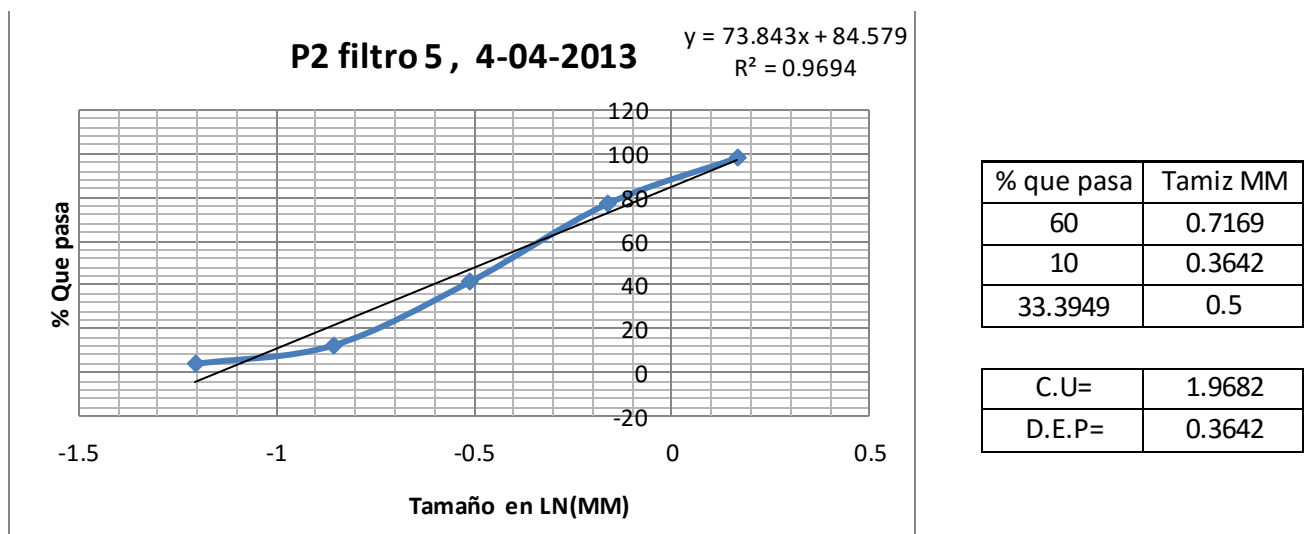
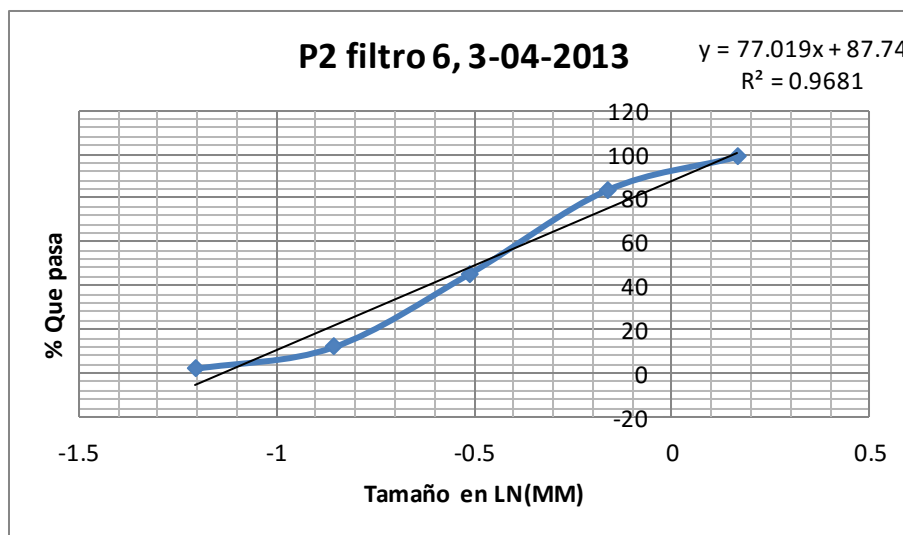


Figura 21. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 5.

Degradación de la arena en 23.3949% con una velocidad de degradación del 1.5597 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis:   |          | 03/04/2013            |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|----------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      | Planta 2, Filtro No: |          | 6                     |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      | Planta 2, Filtro No: |          | 6                     |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      | Planta 2, Filtro No: |          | 6                     |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%)        |          | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido             | Que pasa |                       |                   |
| 12                         | 1.7   | 0.0519              | 0.0519               | 0.0519               | 99.9481  | -                     | -                 |
| 16                         | 1.18  | 1.4608              | 1.4613               | 1.5132               | 98.4868  | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 15.1596             | 15.1647              | 16.6779              | 83.3221  | 3 a 20                | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 38.1025             | 38.1153              | 54.7932              | 45.2068  | 45 a 70               | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 33.3559             | 33.3671              | 88.1602              | 11.8398  | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 9.734               | 9.7373               | 97.8975              | 2.1025   | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 1.9467              | 1.9474               | 99.8448              | 0.1552   | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.1398              | 0.1398               | 99.9847              | 0.0153   | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.012               | 0.0120               | 99.9967              | 0.0033   | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0009              | 0.0009               | 99.9976              | 0.0024   | -                     | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0024              | 0.0024               | 100.0000             | 0.0000   | 6 MAX                 | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9665             | -                    | -                    | -        | -                     | -                 |

Tabla 22. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 6.



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.6976   |
| 10         | 0.3645   |
| 34.3545    | 0.5000   |

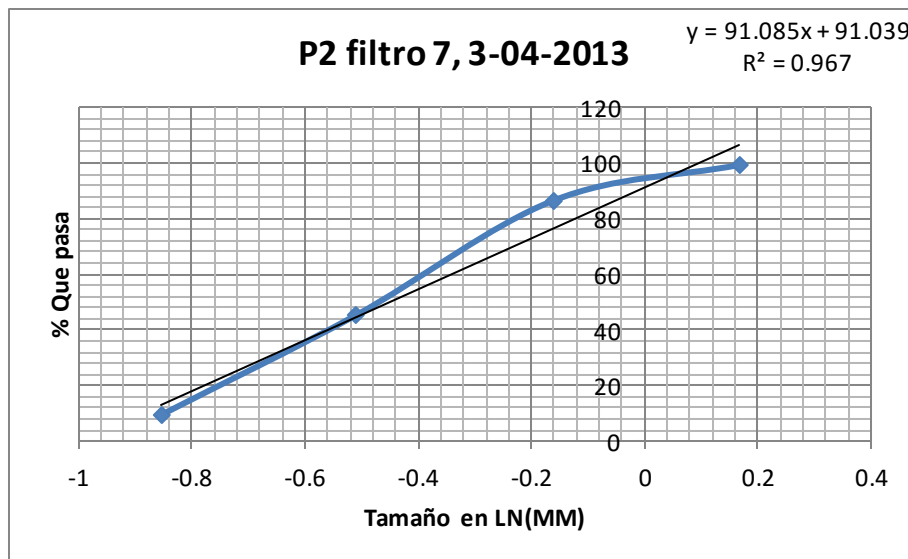
|        |        |
|--------|--------|
| C.U=   | 1.9140 |
| D.E.P= | 0.3645 |

Figura 22. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 6.

Degradación de la arena en 24.3545% con una velocidad de degradación del 1.6236 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis:   | 03/04/2013 |                       |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      | Planta 2, Filtro No: | 7          |                       |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      |                      |            |                       |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      |                      |            |                       |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado            |            | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido             | Que pasa   |                       |                   |
| 16                         | 1.18  | 0.9436              | 0.9440               | 0.9440               | 99.0560    | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 12.7651             | 12.7700              | 13.7139              | 86.2861    | 3 a 20                | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 41.056              | 41.0716              | 54.7855              | 45.2145    | 45 a 70               | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 35.7947             | 35.8083              | 90.5938              | 9.4062     | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 8.5762              | 8.5795               | 99.1733              | 0.8267     | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.7875              | 0.7878               | 99.9611              | 0.0389     | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0319              | 0.0319               | 99.9930              | 0.0070     | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0046              | 0.0046               | 99.9976              | 0.0024     | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.001               | 0.0010               | 99.9986              | 0.0014     | -                     | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0014              | 0.0014               | 100.0000             | 0.0000     | 6 MAX                 | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.962              |                      |                      |            | -                     | -                 |

Tabla 23. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 7.



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.7112   |
| 10         | 0.4108   |
| 27.9037    | 0.5      |

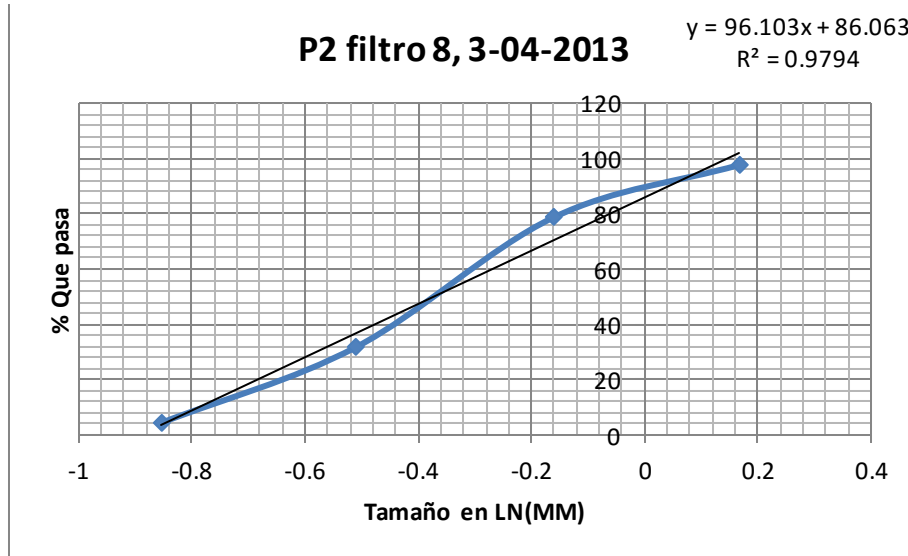
|        |        |
|--------|--------|
| C.U=   | 1.7314 |
| D.E.P= | 0.4108 |

Figura 23. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 7.

Degradación de la arena en 17.9037% con una velocidad de degradación del 1.1936 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis: | 03/04/2013 |                       |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|--------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      |                    |            |                       |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      | Planta 2, Filtro   | 8          |                       |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      | No:                |            |                       |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%)      |            | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido           | Que pasa   |                       |                   |
| 12                         | 1.7   | 0.0629              | 0.0629               | 0.0629             | 99.9371    | -                     | -                 |
| 16                         | 1.18  | 2.0017              | 2.0020               | 2.0649             | 97.9351    | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 19.0486             | 19.0511              | 21.1159            | 78.8841    | 3 a 20                | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 46.9222             | 46.9283              | 68.0442            | 31.9558    | 45 a 70               | SI CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 27.5103             | 27.5139              | 95.5581            | 4.4419     | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 4.081               | 4.0815               | 99.6397            | 0.3603     | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.3403              | 0.3403               | 99.9800            | 0.0200     | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0164              | 0.0164               | 99.9964            | 0.0036     | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0029              | 0.0029               | 99.9993            | 0.0007     | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0003              | 0.0003               | 99.9996            | 0.0004     | -                     | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0004              | 0.0004               | 100.0000           | 0.0000     | 6 MAX                 | SI CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.987              | -                    | -                  | -          | -                     | -                 |

Tabla 24. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 8.



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.7625   |
| 10         | 0.4532   |
| 19.4495    | 0.5      |

|        |        |
|--------|--------|
| C.U=   | 1.6825 |
| D.E.P= | 0.4532 |

Figura 24. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 8.

Degradación de la arena en 9.4495% con una velocidad de degradación del 0.6300 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis:   |          | 03/04/2013           |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      | Planta 2, Filtro No: |          | 9                    |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      |                      |          |                      |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      |                      |          |                      |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%)        |          | Especificaciones (g) | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido             | Que pasa |                      |                   |
| 16                         | 1.18  | 0.6694              | 0.6695               | 0.6695               | 99.3305  | 0                    | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 9.3552              | 9.3563               | 10.0258              | 89.9742  | 3 a 20               | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 35.5294             | 35.5335              | 45.5593              | 54.4407  | 45 a 70              | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 41.6356             | 41.6404              | 87.1997              | 12.8003  | 20 a 45              | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 12.6556             | 12.6571              | 99.8568              | 0.1432   | -                    | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.0847              | 0.0847               | 99.9415              | 0.0585   | -                    | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0493              | 0.0493               | 99.9908              | 0.0092   | -                    | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0047              | 0.0047               | 99.9955              | 0.0045   | -                    | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0008              | 0.0008               | 99.9963              | 0.0037   | -                    | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0037              | 0.0037               | 100.0000             | 0.0000   | 6 MAX                | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9884             | -                    | -                    | -        | -                    | -                 |

Tabla 25. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 9.

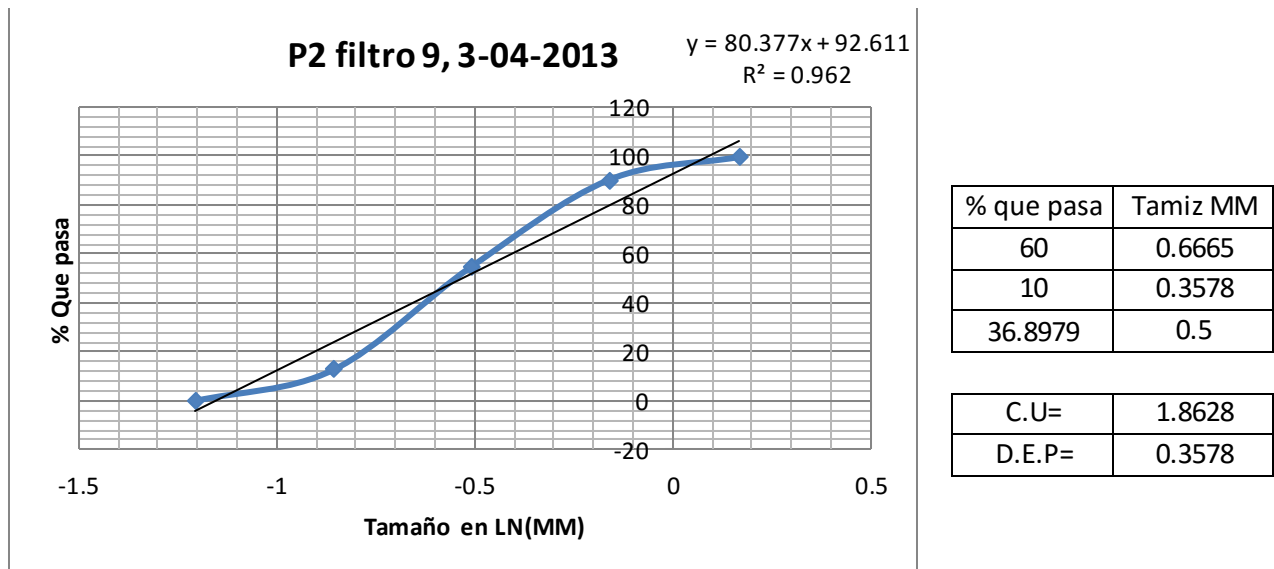
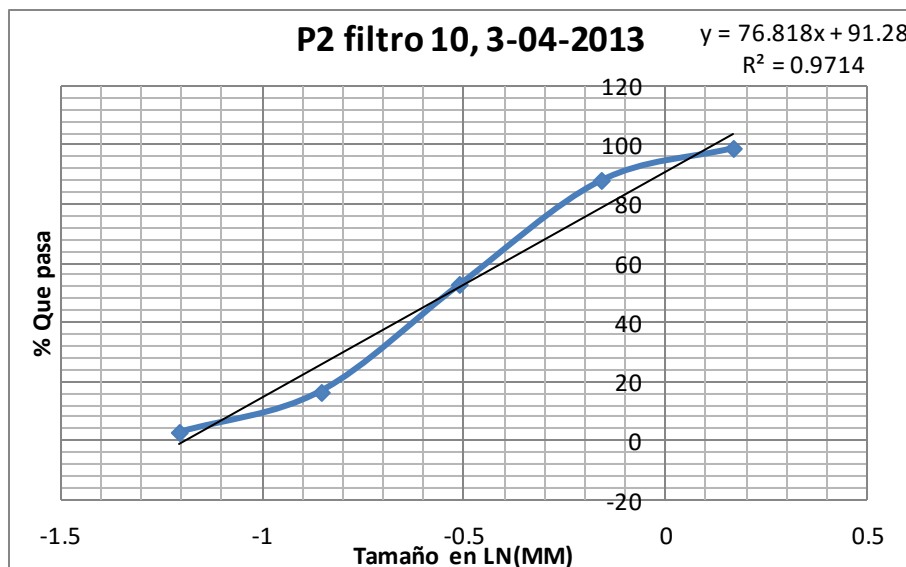


Figura 25. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 9.

Degradación de la arena en 26.8979% con una velocidad de degradación del 1.7932 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis:   | 03/04/2013 |                       |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      |                      |            |                       |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      | Planta 2, Filtro No: | 10         |                       |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      |                      |            |                       |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%).       |            | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido             | Que pasa   |                       |                   |
| 12                         | 1.7   | 0.02                | 0.0200               | 0.0200               | 99.9800    | -                     | -                 |
| 16                         | 1.18  | 1.0133              | 1.0133               | 1.0333               | 98.9667    | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 11.0865             | 11.0865              | 12.1198              | 87.8802    | 3 a 20                | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 35.0833             | 35.0834              | 47.2032              | 52.7968    | 45 a 70               | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 36.1531             | 36.1532              | 83.3565              | 16.6435    | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 13.7599             | 13.7599              | 97.1164              | 2.8836     | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 2.686               | 2.6860               | 99.8024              | 0.1976     | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.1754              | 0.1754               | 99.9778              | 0.0222     | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0152              | 0.0152               | 99.9930              | 0.0070     | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0044              | 0.0044               | 99.9974              | 0.0026     | -                     | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0026              | 0.0026               | 100.0000             | 0.0000     | 6 MAX                 | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9997             | -                    | -                    | -          | -                     | -                 |

Tabla 26. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 10.



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.6655   |
| 10         | 0.3471   |
| 38.0338    | 0.5      |

|        |        |
|--------|--------|
| C.U=   | 1.9172 |
| D.E.P= | 0.3471 |

Figura 26. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 10.

Degradación de la arena en 28.0338% con una velocidad de degradación del 1.8689 % de degradación/año.

| Descripción de la muestra: |       | Arena Sílice.       |                      | Fecha de análisis: | 02/04/2013 |                       |                   |
|----------------------------|-------|---------------------|----------------------|--------------------|------------|-----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       | Filtración de Agua. |                      |                    |            |                       |                   |
| Análisis efectuado:        |       | Granulometría.      |                      | Planta 2, Filtro   | 11         |                       |                   |
| Peso de la muestra:        |       | 100 g               |                      | No:                |            |                       |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g)        | Retenido parcial (%) | Acumulado (%).     |            | Especificaciones (g). | Especificaciones. |
| No                         | MM    |                     |                      | Retenido           | Que pasa   |                       |                   |
| 12                         | 1.7   | 0.068               | 0.0680               | 0.0680             | 99.9320    | -                     | -                 |
| 16                         | 1.18  | 2.6412              | 2.6427               | 2.7107             | 97.2893    | 0                     | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 19.6464             | 19.6576              | 22.3683            | 77.6317    | 3 a 20                | SI CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 44.7068             | 44.7323              | 67.1006            | 32.8994    | 45 a 70               | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 28.5618             | 28.5781              | 95.6787            | 4.3213     | 20 a 45               | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 4.0865              | 4.0888               | 99.7676            | 0.2324     | -                     | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.2203              | 0.2204               | 99.9880            | 0.0120     | -                     | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0064              | 0.0064               | 99.9944            | 0.0056     | -                     | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0027              | 0.0027               | 99.9971            | 0.0029     | -                     | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.0012              | 0.0012               | 99.9983            | 0.0017     | -                     | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0017              | 0.0017               | 100.0000           | 0.0000     | 6 MAX                 | SI CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.943              | -                    | -                  | -          | -                     | -                 |

Tabla 27. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 11.

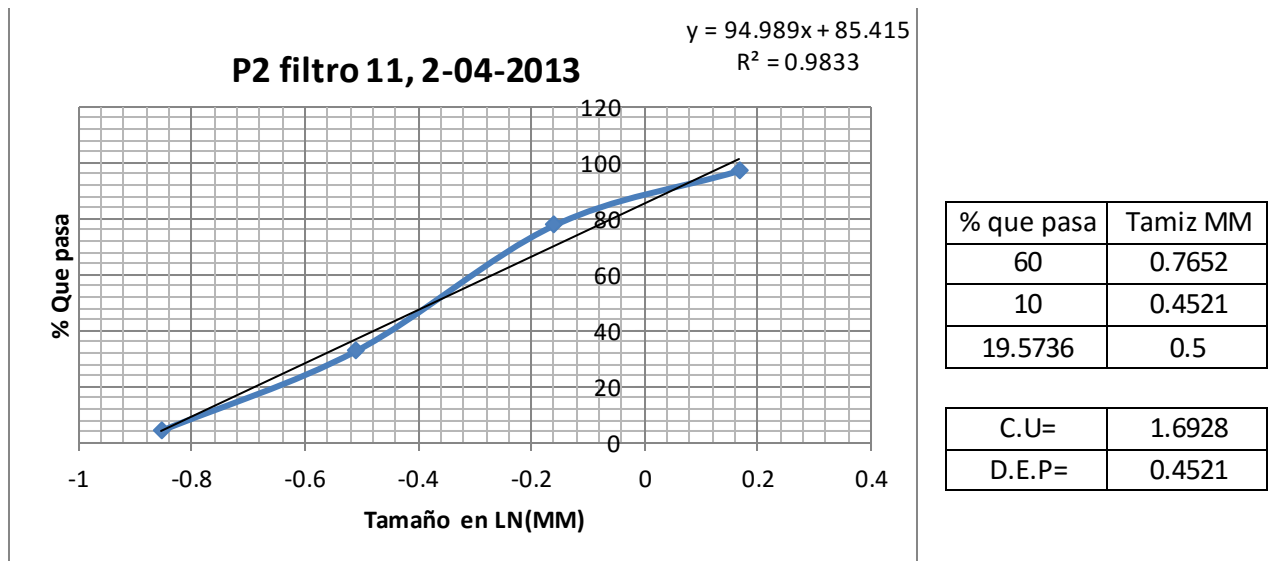


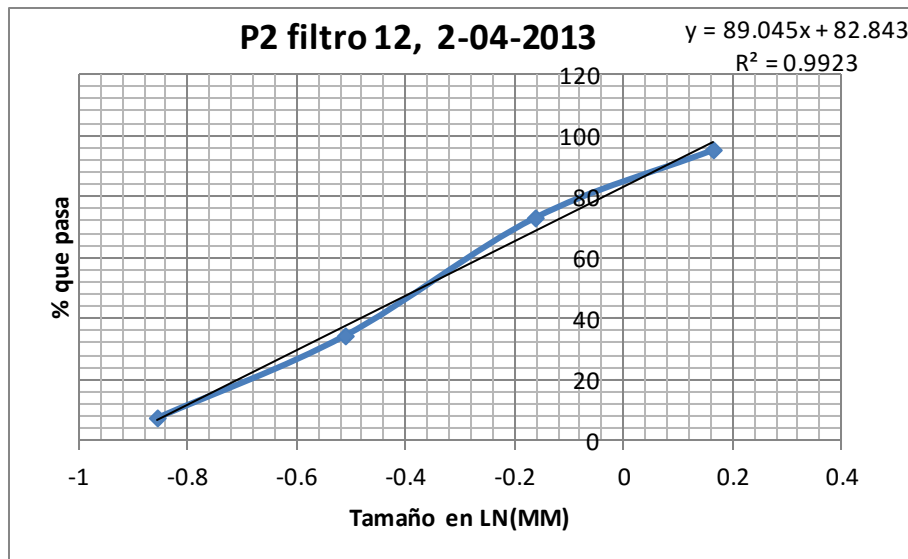
Figura 27. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 11.

Degradación de la arena en 9.5736% con una velocidad de degradación del 0.6382 % de degradación/año.



| Descripción de la muestra: |       |              | Arena Sílice.        |               | Fecha de análisis: | 02/04/2013           |                   |
|----------------------------|-------|--------------|----------------------|---------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| Uso:                       |       |              | Filtración de Agua.  |               |                    |                      |                   |
| Análisis efectuado:        |       |              | Granulometría.       |               | Planta 2, Filtro   | 12                   |                   |
| Peso de la muestra:        |       |              | 100 g                |               | No:                |                      |                   |
| Tamiz                      |       | Retenido (g) | Retenido parcial (%) | Acumulado (%) |                    | Especificaciones (%) | Especificaciones. |
| No                         | MM    |              |                      | Retenido      | Que pasa           |                      |                   |
| 12                         | 1.7   | 0.2157       | 0.2157               | 0.2157        | 99.7843            | -                    | -                 |
| 16                         | 1.18  | 4.3207       | 4.3209               | 4.5366        | 95.4634            | 0                    | NO CUMPLE         |
| 20                         | 0.85  | 22.4395      | 22.4405              | 26.9771       | 73.0229            | 3 a 20               | NO CUMPLE         |
| 30                         | 0.6   | 38.7424      | 38.7442              | 65.7213       | 34.2787            | 45 a 70              | NO CUMPLE         |
| 40                         | 0.425 | 27.0827      | 27.0839              | 92.8053       | 7.1947             | 20 a 45              | SI CUMPLE         |
| 50                         | 0.3   | 6.4949       | 6.4952               | 99.3005       | 0.6995             | -                    | -                 |
| 70                         | 0.212 | 0.6595       | 0.6595               | 99.9600       | 0.0400             | -                    | -                 |
| 100                        | 0.15  | 0.0311       | 0.0311               | 99.9911       | 0.0089             | -                    | -                 |
| 140                        | 0.106 | 0.0015       | 0.0015               | 99.9926       | 0.0074             | -                    | -                 |
| 200                        | 0.074 | 0.002        | 0.0020               | 99.9946       | 0.0054             | -                    | -                 |
| Residuo                    | 0     | 0.0054       | 0.0054               | 100.0000      | 0.0000             | 6 MAX                | NO CUMPLE         |
| suma                       | -     | 99.9954      | -                    | -             | -                  | -                    | -                 |

Tabla 28. Análisis Granulométrico, planta 2, filtro 12.



| % que pasa | Tamiz MM |
|------------|----------|
| 60         | 0.7737   |
| 10         | 0.4413   |
| 21.1217    | 0.5000   |

|        |        |
|--------|--------|
| C.U=   | 1.7533 |
| D.E.P= | 0.4413 |

Figura 28. Ajuste de curva de la arena sílice del filtro 12.

Degradación de la arena en 11.1217% con una velocidad de degradación del 0.7414% de degradación/año.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

---

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos y granulométricos se tiene que los procesos de potabilización del agua de la planta 2, (con una eficiencia que estaba por debajo del 0%), llegan a mejorar hasta un rango de 15 a 30 % en los procesos de coagulación y floculación, en relación a la reducción de turbidez. Mientras que la eficiencia del proceso de filtrado se mantiene por debajo del 0% en reducción de materia orgánica, debido a que la arena no ha sido cambiada durante 15 años y se encuentra en un rango de 8% al 30% de degradación.

De los análisis fisicoquímicos en los procesos de potabilización del agua, se conoció la eficiencia en la reducción de la turbidez y en la reducción de materia orgánica para ambas plantas haciéndolo más eficientes en la siguiente relación:

- La eficiencia de la reducción de la turbidez de 46.61% a 54.29% y de 34.10% a 51.66% en la reducción de materia orgánica para la planta 1.
- La mejora en la eficiencia de reducción de materia orgánica (DQO) fue de -35.8% a 5.67%, mientras que en reducción de turbidez se mantiene un rango de 80% a 83 % de eficiencia (82.7% a 81.43%), para la planta 2.

De acuerdo a lo anterior se tiene que el objetivo general perseguido en este proyecto que se refería a "Realizar un diagnóstico fisicoquímico de las plantas potabilizadoras 1 y 2 de SMAPA, con la finalidad de conocer su funcionamiento y hacerlo más eficiente" se ha logrado de una manera satisfactoria.

Los resultados del análisis del agua potable indican que todos los parámetros fisicoquímicos están dentro de los límites permisibles indicados por la norma NOM-127-SSA1-1994- "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

## 5.1 Recomendaciones

- Cambiar la arena del lecho filtrante de los filtros de la planta 2 por una mezcla de arena sílice y antracita que cumplan con las especificaciones mencionadas.
- Realizar un rol de limpieza constante de todo el proceso, por lo menos las paredes de los floculadores, sedimentadores ya que en ellos se encuentran algas.
- Realizar cambio de los equipos de distribución y bombeos de toda la planta 1 y 2.
- Cambiar equipos de cloración, adición de sulfato y polímero por equipos dosificadores automáticos.

## CAPÍTULO VI. ANEXOS FOTOGRÁFICOS.

---

### Imágenes de la limpieza de la planta potabilizadora numero 2



*Figura 29. Limpieza de los filtros planta potabilizadora número 2*



*Figura 30. Limpieza de los sedimentadores planta número 2*



*Figura 31. Limpieza de las canaletas antes de sedimentación (después de floculación)*

## CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. ANTON, Danilo J. (1999). *Diversidad, globalización y la sabiduría de la naturaleza*, Montevideo, Piriguazú Ediciones / CIID. Pp.304.
2. Antonio Ros Moreno. (2010). El agua. Oficina de patentes y marcas de España. Pp.118, 119, 24, 25, 29, 32-33.
3. ASTM. (1987). Annual book of astm standards. Sección 5. Volume 0.5. Pp 229.
4. Avila Carlos. (octubre 2009). Granulometría de suelos. Universidad nacional Federico Villareal.
5. Chang, R. (1994). Química. México. McGraw-Hill Interamericana.
6. Cheng, L., Bi, X., Liu, C., Qi, Y., & Zhu, W. (2009). Oilfield Produced Water Treatment by Combination of Coarse Graining and Inclined Plates Sedimentation. International Conference on Energy and Environment Technology (pp. 637-640). IEEE Computer Society
7. Crites, R., Tchobanoglous, G., (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill.
8. Culp G.L. Culp R.L. (1974). New Concepts in wáter purification. Van Nostrand Reinhold Co.
9. Escobar Ramírez, et al (2013). rediseño de un biorreactor para tratamiento de aguas residuales provenientes del beneficio húmedo del café. reporte técnico de residencia profesional. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Pp. 19-20.
10. Fernández, N., Ramírez, A., Solano, F., (2003). Índices físico-químicos de Calidad del agua. un estudio comparativo. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Universidad del Valle Cinara. 2003
11. Guillermo Goyenola. (junio de 2007). Determinación de la Alcalinidad Total. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA.



12. Hernández, J; Hidalgo, G. (2000). Evaluación de 3 metodologías para reducir los niveles de Contaminantes en efluentes de tratamiento primario de las aguas. Trabajo de Graduación. Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. Pp. 85.
13. Jairo Alberto Romero Rojas. (1999). Calidad del agua. Alfaomega. 2° edición. Pp.167-168, 64, 66-67, 73-76, 82-86, 107-109.
14. Jairo Alberto Romero Rojas. (1999). Potabilización del agua. Alfaomega. 3° edición. Pp.119-121, 193-194, 223-225.
15. Kawuamura S. (October 2000). Design and Operation of High Rate Fillers. J AWWA. Vol. 67. Pp. 535.
16. Luis Sánchez Rodríguez, Juan Reynerio Fagundo. Patricia González, Margaret Suárez. (2000). Análisis químico y calidad de las aguas minerales. Centro Nacional de Termalismo "Víctor Santamarina". Conferencia 5.
17. Manuel de Lucas Blanco. (2008). Estaciones de Tratamiento de Agua Potable. Aquagest.
18. Mynor Romero. (2008). Tratamientos utilizados en potabilización de agua. facultad de ing. Universidad Rafael Landivar. Pp. 8-11.
19. N.F. Gray. (1996). Calidad del Agua Potable. Trinity College, University of dublin, ireland. Ed. Acribia, S,A.
20. NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
21. Rigola, M. (1989). Tratamiento de aguas industriales, Marcombo.
22. Rodolfo Retamozo. (2004). Potabilización del agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias. Sunass. Pp. 27.
23. Santiago Fernández, J.F. (1997). Manual de potabilización de aguas. Centro de información de agua y saneamiento. Ed. Academia.
24. Schultz, Thomas E. (2005) Biological Wastewater Treatment. Chemical Week Associates. Waukesha, WI.
25. Steel E.W. McGhee T. J. (2002). Water supply and sewerage. 5a ed; McGraw Hill Book Co.