

**DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE OPERACIÓN PARA LA PURGA DE  
LODOS DE LOS FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE  
BUCARAMANGA**

**CARLOS MAURICIO MURCIA DÍAZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL BUCARAMANGA  
2019**

**DETERMINACION DE PARAMETROS DE OPERACIÓN PARA LA PURGA DE  
LODOS DE LOS FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE  
BUCARAMANGA**

**CARLOS MAURICIO MURCIA DÍAZ**

**PROYECTO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**Director:**

**ALVARO ANDRES CAJIGAS CERÓN  
MAGISTER EN INGENIERÍA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL BUCARAMANGA**

**2019**

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por otorgarme esta oportunidad de culminar un ciclo y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados que es obtener el título profesional como ingeniero ambiental.

A mi madre Carmen Díaz, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años de perseverancia para poder lograr esta meta, gracias a mi padre Carlos Abel Murcia que desde el cielo siempre me acompañó para llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo.

A mis dos hermanas Jessyca y Natalia Murcia Díaz junto a mis nonos por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral de toda mi familia, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

También quiero agradecer a la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, directivos, profesores y administrativos del programa de ingeniería ambiental.

De igual forma, agradezco a mi director de proyecto de grado el ingeniero Álvaro Andrés Cajigas Cerón por darme la oportunidad de participar en este proyecto y a la auxiliar de laboratorio Naidú Villamizar, que gracias a sus enseñanzas, colaboraciones y correcciones hoy puedo culminar este proyecto. Hoy puedo sentirme dichoso y contento de haber finalizado esta etapa de mi vida con éxito.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>MARCO TEORICO.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Planta de Tratamiento de Agua potable Bosconia.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Proceso de Tratamiento de agua potable .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Propiedades fisicoquímicas del agua.....</b>	<b>16</b>
3.3.1	Turbiedad .....	16
3.3.2	Solidos Suspendidos.....	17
3.3.3	pH.....	17
3.3.4	Conductividad.....	18
<b>3.4</b>	<b>Proceso de Tratamiento de lodos .....</b>	<b>18</b>
3.4.1	Mezcla .....	18
3.4.2	Espesamiento.....	18
3.4.3	Espesamiento por gravedad .....	19
3.4.4	Espesamiento por flotación.....	19
3.4.5	Deshidratación.....	20
3.4.6	Centrifugación .....	20
<b>3.5</b>	<b>Tipos de Filtros .....</b>	<b>21</b>
3.5.1	Filtros banda.....	21
3.5.2	Filtros prensa.....	22
<b>3.6</b>	<b>Características fisicoquímicas de los lodos procedentes de una PTAP.....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>

<b>4.1 Fases Experimentales .....</b>	<b>23</b>
4.1.1 Fase 1. Recolección de muestras y establecimiento de la ecuación.....	23
4.1.2 Fase 2. Evaluación de las carreras de filtración.....	25
4.1.3 Fase 3. Sedimentabilidad de Lodos a diferentes concentraciones. ....	26
<b>5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>5.1 Fase 1. Recolección de muestras y establecimiento de la ecuación. ....</b>	<b>27</b>
<b>5.2 FASE 2. Determinación de carreras de filtración y balance de masas .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3 FASE 3. Sedimentabilidad de lodo en los filtros.....</b>	<b>35</b>
<b>6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>7 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>	<b>39</b>
<b>9 ANEXOS .....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros a medir en muestras de agua de filtros entrada y salida	24
Tabla 2. Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson	30
Tabla 3. Correlación estadística entre turbiedad y sólidos suspendidos	30
Tabla 4. Balance de masas entrada y salidas filtros - descarga deretrolavados	34
Tabla 5. Tiempo de Sedimentación de lodos de los filtros por método como Imhoff	35
Tabla 6. Tiempo de Sedimentación de lodos de los filtros por método como Imhoff a 500ml de lodo	36

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Planta de Tratamiento de agua Potable Bosconia del AMB	12
Figura 2 Planta Bosconia del AMB	13
Figura 3.Etapas del tratamiento de agua potable.	14
Figura 4 Mezcla Rápida y Flocladores	14
Figura 5 Sedimentador 4	15
Figura 6 Galería de filtros 7, 8, 9, 10,11 y 12	15
Figura 7 Filtros 7,9 Y 11	16
Figura 8 Mediciones de parámetros de muestreo.	25

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1 Sólidos en la entrada del Filtro.....	28
Gráfica 2 Turbiedad del agua cruda y sólidos suspendidos a la entrada de los filtros .....	29
Gráfica 3 Dispersión simple entre Turbiedad del agua cruda y sólidos suspendidos.....	31
Gráfica 4 Turbiedades de entrada de filtro durante el muestreo .....	32
Gráfica 5 Turbiedades-sólidos suspendidos de salida de filtro 7 durante el muestreo.....	32
Gráfica 6 Turbiedades-sólidos suspendidos de salida de filtro 9 durante el muestreo.....	33
Gráfica 7 Turbiedades-sólidos suspendidos de salida de filtro 11 durante el muestreo.....	33
Gráfica 8 Turbiedad-sólidos suspendidos de entrada y salida de filtros 7,9 y 11 durante el muestreo...	35
Gráfica 9 Curva de sedimentabilidad para 1000 ml de lodo .....	37
Gráfica 10 Curva de sedimentabilidad para 500 ml de lodo diluido con 500 ml de agua.....	37

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DE OPERACIÓN PARA LA PURGA DE LODOS DE LOS FILTROS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE BOSCONIA DEL ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA

**AUTOR(ES):** CARLOS MAURICIO MURCIA DÍAZ

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR(A):** ALVARO ANDRES CAJIGAS CERÓN

### RESUMEN

Este proyecto investigativo tuvo como fundamento la definición de parámetros de operación de los filtros para la planta de lodos que se encuentra en construcción de la PTAP Bosconia del AMB. Los parámetros establecidos para la operación fueron turbiedad de entrada y salida de los filtros, sólidos totales, sólidos disueltos y suspendidos que permitieron establecer la cantidad de lodos generados en los filtros 7,9 y 11 al mismo tiempo se definió la correlación estadística entre sólidos suspendidos y turbiedad por medio del software IBM (International Business Machines) SPSS (Statistical Product and Service Solutions) Statistics. Se relacionaron datos de turbiedad y tiempo en frecuencias hora a hora por 24 horas con el fin de establecer las carreras de filtración. A sí mismo, esta investigación logró encontrar que la cantidad de lodos generados por los filtros no es significativa obteniendo tiempos de sedimentación por debajo a 8 minutos, con las dos diluciones al cual fueron trabajados 100% y 50%, aportando información para operar el sistema de tratamiento de lodos en su depuración y almacenamiento.

### PALABRAS CLAVE:

PTAP, turbiedad, lodos, filtros, sólidos suspendidos, sólidos totales, filtración

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** DETERMINATION OF OPERATION PARAMETERS FOR THE FILTER'S MUD PURGE IN THE BOSCONIA DRINKING WATER TREATMENT PLANT OF THE BUCARAMANGA METROPOLITAN AGREEMENT

**AUTHOR(S):** CARLOS MAURICIO MURCIA DÍAZ

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** ALVARO ANDRES CAJIGAS CERÓN

### **ABSTRACT**

This research project was based on the definition of operating parameters of the filters for the sludge plant that is under construction of the Bosconia PTAP of the AMB. The parameters established for the operation were turbidity of entry and exit of the filters, total solids, dissolved and suspended solids that allowed to establish the amount of sludge generated in filters 7,9 and 11 at the same time the statistical correlation between suspended solids was defined and turbidity through the IBM (International Business Machines) SPSS (Statistical Product and Service Solutions) Statistics software. Turbidity and time data were related in order to establish filtration runs. To itself, this investigation managed to find that the amount of sludge generated by the filters is not significant, obtaining sedimentation times below 8 minutes, with the two dilutions to which 100% and 50% were worked, providing information to operate the system. of sludge treatment in its purification and storage.

### **KEYWORDS:**

PTAP, turbidity, sludge, filters, suspended solids, total solids, filtration

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1 INTRODUCCION

La liberación de material sobrante que queda producto de las PTAP(plantas de tratamiento de agua potable) en los cauces de agua genera diferentes tipos de problemas relevantes, ya que este material sobrante especialmente residuos son principalmente de carácter inorgánico, crea diferentes cantidades y concentraciones de lodos en las secciones lentas del cauce, por lo que aumenta la turbidez y color de las aguas que reciben estos lodos, cuando se está utilizando carbón activado, ya que disminuye la actividad fotosintética de las plantas que habitan en el agua, y en definitiva, surgen diferentes problemas ambientales que hay que analizar, y extraer por tanto los residuos sólidos antes de verterlos a los cauces. La normatividad colombiana ambiental es cada vez más estricta en cuanto a las características de estos vertimientos. (*Francisco Ramírez Quirós ,2008*).

El acueducto metropolitano de Bucaramanga inicio los diseños de la planta de lodos a través de un estudio estableciendo el más apropiado a las condiciones de la planta de Bosconia mediante un consultor externo, pero carecen de información sobre los parámetros operativos para dar un inicio óptimo de operación de esta planta los cuales son: purgas de filtros, purgas de sedimentadores, concentraciones necesarias de lodos adecuadas, carreras de filtración.

Lo anterior con el objetivo de determinar los parámetros de operación para la purga de lodos de los filtros, con el fin de establecer un punto de partida para operar la planta de lodos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Definir los parámetros de operación para la purga de lodos de los filtros de la planta de agua potable de Bosconia del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga –Amb

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Determinar la curva de correlación solidos totales- turbiedad a la entrada de los filtros para la planta Bosconia.
- Establecer los óptimos de las carreras de filtración mediante balance de masas.
- Establecer el espesamiento natural de acuerdo a los resultados de sedimentabilidad de lodos a diferentes concentraciones y curva de correlación solidos totales- turbiedad.

### **3 MARCO TEORICO**

El tratamiento de lodos generados por las plantas de tratamiento de agua potable en Colombia es un tema investigativo y operativo que se encuentra en una etapa de análisis, ya que se conoce poca información previa acerca del desarrollo de lodos. No obstante, existen plantas de agua potable convencionales realizando tratamiento a los lodos por medio de deshidratación y espesamientos químicos utilizando polímeros.

Las causas de problemas ambientales de lodos producidos por plantas de agua potable, se relacionan principalmente a sólidos que quedan suspendidos en los sedimentadores y filtros que luego son descargados a fuentes de agua naturales.

Se exponen los puntos importantes en el proceso de tratamiento como su funcionabilidad y correspondiente importancia de la PTAP de Bosconia del AMB como lineamiento para el avance de la investigación.

#### **3.1 Planta de Tratamiento de Agua potable Bosconia.**

Esta planta de tratamiento hace parte del proyecto Suratá, cuyos estudios fueron realizados en el año de 1980, y el cual se realizó con el objeto de ampliar el suministro al Área Metropolitana de Bucaramanga, con un horizonte de diseño al año 2000, el cual comprendió la construcción de: la captación del río Suratá, las obras de Pretratamiento: tanques desarenadores y pre sedimentadores, la planta de tratamiento de Bosconia, estación de Bombeo de agua tratada, subestación eléctrica, línea de impulsión y el sistema de redes y Tanques para la distribución del agua a la ciudad. (AMB ,2019)

El proyecto río Suratá inició operaciones en agosto de 1984 aumentando en 2000 l/s la capacidad de producción mínima confiable del sistema completando una capacidad total de

producción de 3840 l/s, que servirán para atender la población del Área Metropolitana del año 2003. (AMB ,2019)

La planta de Bosconia está localizada en la vía que conduce de Bucaramanga, al municipio de Matanza, al Nororiente de la ciudad, entre las cotas topográficas 685 y 675 msnm. La planta tiene una capacidad de 2000 l/s, y es del tipo convencional con tanques desarenadores, pre sedimentadores, mezcla rápida, floculación mecánica, sedimentación y filtración. (AMB ,2019).



*Figura 1 Planta de Tratamiento de agua Potable Bosconia del AMB*

*Fuente: Autor*

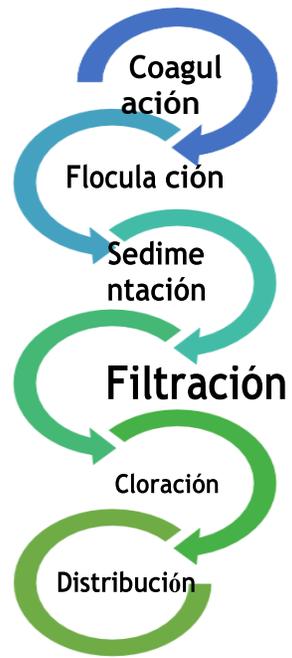


*Figura 2 Planta Bosconia del AMB*

*Fuente: Autor*

### **3.2 Proceso de Tratamiento de agua potable**

Las instalaciones de la planta se realizan los siguientes procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración entre los cuales están 12 filtros, 4 sedimentadores, 4 floculadores y un tanque de almacenamiento de agua que se almacena después del tratamiento con capacidad de 10.000 m<sup>3</sup> con una posterior desinfección para una distribución a la ciudad de Bucaramanga.



*Figura 3. Etapas del tratamiento de agua potable.*

*Fuente: Autor*



*Figura 4 Mezcla Rápida y Floculadores*

*Fuente: Autor*



*Figura 5 Sedimentador 4*

*Fuente: Autor*



*Figura 6 Galería de filtros 7, 8, 9, 10, 11 y 12*

*Fuente: Autor*



*Figura 7 Filtros 7,9 Y 11*

*Fuente: Autor*

### **3.3 Propiedades fisicoquímicas del agua**

Las propiedades físicas y químicas del agua son las cuales por medio de análisis de laboratorio y procedimientos con equipos en algunos casos con equipos In-Situ nos permiten caracterizar el tipo de agua que se encuentra presente, con el fin de que cumpla con los rangos mínimos permisibles para el consumo humano.

#### **3.3.1 Turbiedad**

La turbiedad es una medida que permite conocer el grado de transparencia que se encuentra debido a sólidos en suspensión.

Es decir que a mayor número de sólidos en suspensión se encuentren presentes en el agua, su color será más oscuro disminuyendo la transparencia y más alta será la turbiedad. La turbiedad es considerada una buena medida de la calidad del agua.

(Lozano-Rivas & Lozano Bravo, 2015)

### **3.3.2 Sólidos Suspendidos**

Los sólidos en suspensión son partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del líquido o debido a que la densidad de la partícula es menor o igual que la del agua. La concentración de sólidos en suspensión es un valor utilizado como uno de los indicadores de la calidad del agua. Todos los sólidos en suspensión se pueden eliminar del agua mediante filtrado; sin embargo, si los sólidos en suspensión tienen una densidad mayor que el agua, estas partículas se pueden eliminar también por sedimentación, si la turbulencia del agua es mínima. Los sólidos en suspensión pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los materiales orgánicos tienen origen animal o vegetal. Las sustancias orgánicas siempre contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Las sustancias inorgánicas tienen, por otro lado, origen mineral y no suelen contener carbono. S.A.S., G. (2019)

Los sólidos en suspensión desempeñan un papel importante como contaminantes, tanto debido a la materia orgánica o inorgánica que los forman, como por los agentes patógenos que son transportados en la superficie de dichas partículas. Por ello, cuanto menor sea el tamaño de la partícula, mayor será el área superficial por unidad de masa de la partícula, y, por lo tanto, mayor será la carga patógena que puede ser transportada. S.A.S., G. (2019).

### **3.3.3 pH**

El pH indica el grado que tiene el agua en cuanto a ácido o alcalina, sus rangos se encuentran entre 0 a 14, fundamentado 7 como valor neutro, la solución con pH por superior a 7 se consideran ácidas y las soluciones con pH por encima de 7 son bases o alcalinas (Vera B., 2007). En un pH alcalino se pueden producir problemas de incrustaciones a causa de la dureza, que causa problemas como la

formación de sarro precipitado en las tuberías y accesorios. El agua con pH menor a 6,5 puede ser corrosiva y puede causar daños en la tubería y accesorios de plomería (Giraldo G, 1995).

### **3.3.4 Conductividad**

La conductividad es la capacidad que tiene un material de atravesar la corriente eléctrica a través de él. Para entender la conductividad del agua hay que conocer de qué tipo de H<sub>2</sub>O hablamos. El agua por naturaleza sin contaminantes, no permite la conducción de la electricidad.

## **3.4 Proceso de Tratamiento de lodos**

El proceso de tratamiento de lodos se divide en diferentes etapas las cuales son encargadas de disminuir la cantidad de sólidos y humedad posible para su manejo adecuado con el fin de disminuir los impactos al medio ambiente, entre las cuales están:

### **3.4.1 Mezcla**

Los lodos que se originan en las estaciones de tratamiento se recogen a través de las purgas de los decantadores, donde generalmente precipitan por gravedad o en el lavado de los filtros.

Dado que estos lodos se extraen de forma intermitente y las concentraciones son bastante diferentes, es aconsejable enviarlos a un depósito de mezcla y almacenamiento, donde se homogeneice la concentración y a la vez se disponga de un volumen tal que permita el funcionamiento continuado de la planta de fangos.

### **3.4.2 Espesamiento**

Los fangos originados en las estaciones de tratamiento pueden considerarse como fangos poco concentrados. También se conocen, dadas sus características, como «fangos de hidróxidos» (el hidróxido de aluminio es uno de sus componentes principales). Los procedentes de las purgas de sedimentadores probablemente contienen valores promedio de

materia seca del orden del 0,5% (g/l). Este valor es orientativo, ya que depende de varios factores, como son, en primer lugar, las características del agua bruta (turbiedad, color, metales como hierro y manganeso, etc.).

### **3.4.3 Espesamiento por gravedad**

El espesamiento por gravedad casi siempre se usa en decantadores estáticos o rectangulares de rasquetas que arrastran el lodo suspendido hacia las arquetas de recogida. El H<sub>2</sub>O decantada clarificada se separa por los vertederos situados en la parte de arriba de ellos. En ocasiones, los decantadores por gravedad tienen lamelas que, al aumentar el espacio de decantación, facilita la reducción de volumen del decantador, obteniendo los mismos o excelentes resultados en el espesamiento.

### **3.4.4 Espesamiento por flotación**

El espesamiento por flotación aprovecha la flotabilidad de las partículas (flóculos) cuando se les adhieren pequeñas burbujas de aire. Para la adherencia de estas burbujas de aire, basta con presurizar directamente la mezcla de fangos con aire, a una presión de 6 bares y descomprimir después a la entrada del flotador. También se puede presurizar directamente agua clarificada que se inyecta después en el propio fango. El fango flotado y espesado es retirado de la superficie mediante frascetas superficiales.

El espesamiento de lodos por flotación es un tratamiento el cual los lodos provenientes de la purga de los sedimentadores son mezclados con un caudal de agua con una presión establecida. Dicho caudal es utilizado para entrar en el tanque de flotación a una velocidad mínima por medio de un transporte de mezcla (flotador) que es vertido a una casilla de

ingreso por vía de un sistema de distribución. El aire disuelto ya está dosificado antes de que el agua entre a este compartimento. Las partículas pesadas se sedimentan y se recogen en una poceta para purga de fangos, de donde son extraídos. El agua ingresará a un compartimento rebosadero y que ingresará en la cámara de separación, la cual es enviada a los sedimentadores- concentradores en principal del tratamiento, mientras el lodo espesado y flotante es enviado a la siguiente fase de deshidratación.

### **3.4.5 Deshidratación**

El fango espesado, contiene aún un porcentaje pequeño de materia seca (4%), lo que hace necesario una mayor concentración y manejar de esta forma menores volúmenes, para lo que se recurre a la deshidratación mecánica (el secado por evaporación en eras de secado presenta inconvenientes, tanto en espacio como ambiental).

La extracción del agua retenida por capilaridad en el lodo no es posible con una simple decantación, ya sea por gravedad o por flotación. Para conseguir grados de sequedad del orden del 20% o mayores, hay que someter el lodo a una filtración o a una centrifugación, y generalmente para aumentar el rendimiento de estos tratamientos se hace necesario utilizar determinados reactivos como cal o poli electrólitos. (*Ramírez Quiroz, FRANCISCO (2008, junio)*)

### **3.4.6 Centrifugación**

La centrifugación, en definitiva, es una decantación que tiene lugar en un decantador cilíndrico que gira a gran velocidad. Esta rotación origina un campo centrífugo equivalente a varios miles de veces la fuerza de la gravedad precipitándose por tanto el lodo deshidratado en las paredes interiores del cilindro giratorio.

Las centrífugas industriales convencionales están formadas por un cuerpo cilíndrico rotatorio o rotor en cuya interior gira en el mismo sentido y también a gran velocidad, aunque algo menor que el rotor, un tornillo helicoidal que va arrastrando hacia el exterior los sólidos que se han ido acumulando en las paredes interiores del rotor. La entrada del fango al rotor de la centrífuga tiene lugar por un tubo central. El tornillo helicoidal arrastra el fango retirado de las paredes internas del rotor hacia el exterior por un extremo, mientras que el agua clarificada sale por el extremo opuesto.

El destino final de este tipo de lodos por ahora suele ser a vertedero controlado, como relleno de terrenos y canteras ya explotadas en determinadas zonas, o incluso compostaje junto con el fango de depuración de agua residual. Dado su elevado contenido en arcilla, algunos fangos podrían emplearse en la fabricación de determinados productos cerámicos, tales como ladrillos, bases para baldosas y azulejos, etc., siempre que el contenido en materia orgánica sea bajo.

En cualquier caso, estos fangos no están caracterizados como residuo tóxico o peligroso, por lo que generalmente pueden considerarse como vertido inerte de cara a su destino final en los vertederos controlados. El mayor coste en la gestión de estos lodos es su retirada y vertido.

El agua clarificada de todo el proceso de tratamiento de fangos puede ser recuperada y enviada al tratamiento en la PTAP. *(Ramírez Quiroz, FRANCISCO (2008, junio))*

### **3.5 Tipos de Filtros**

Los sistemas de filtración más empleados son los filtros prensa y los filtros banda.

#### **3.5.1 Filtros banda**

Los filtros banda consisten en una banda continua de tela filtrante que pasa a través de unos rodillos giratorios. El fango acondicionado con un ayudante de floculación, como los polis electrólitos u otros equivalentes, se vierte de forma continua sobre la banda. Posteriormente, al pasar entre los rodillos, es comprimida y una placa rascadora va separando el fango deshidratado de la banda.

### **3.5.2 Filtros prensa**

En esencia éstos constan de una serie de placas de fundición o de algún material moldeado, con caras acanaladas sobre las que se intercalan unas telas filtrantes.

El funcionamiento es discontinuo, y muy laborioso, obteniéndose un fango bastante seco, próximo al 30% en materia seca.

## **3.6 Características fisicoquímicas de los lodos procedentes de una PTAP**

Los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de agua potable están constituidos principalmente por los materiales presentes en el agua natural y que por procesos químicos como oxidación, coagulación y precipitación son retenidos en los sedimentadores y filtros, así como por otro tipo sustancias provenientes del coagulante y reactivos como permanganato, carbón, cal, que se utilizan en el proceso de tratamiento del agua potable.

Los diferentes tipos de sustancias o materiales presentes en el agua cruda por lo general son de tipo inorgánico, como arcillas, arenas, etc., y otras, tanto en suspensión como disueltas, inorgánicas y orgánicas como el plancton y microorganismos, entre otros. Por lo tanto, las características de los lodos cambian en función de la calidad del agua cruda y del método

de tratamiento utilizado en las PTAP.

Los lodos que se producen en una planta convencional de fangos tras la etapa final de centrifugación o filtración tienen una generación de materia entre un 15% a un 25% de materia seca (si se emplean filtros prensa en la deshidratación, pueden conseguirse mayores sequedades). (*Ramírez Quiroz, FRANCISCO (2008, junio)*)

## **4 METODOLOGÍA**

Se realizó una previa investigación sobre el tratamiento de lodos, producción y los problemas que causan en el ambiente asociados a la planta, que se generan en las diferentes etapas de tratamiento de agua potable de la planta.

El área seleccionada para la ejecución del proyecto corresponde a la planta de tratamiento de agua potable de Bosconia, localizada en el área metropolitana de Bucaramanga, en el departamento de Santander. Para el muestreo se rigió por la Norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-5 la cual establece directrices para el muestreo de agua potable de instalaciones de tratamiento y sistemas de distribución.

### **4.1 Fases Experimentales**

Para dar cumplimiento a los objetivos se pretende realizar las siguientes actividades divididas en tres fases:

#### **4.1.1 Fase 1. Recolección de muestras y establecimiento de la ecuación.**

La toma de muestras se realizó en la entrada y salida de los filtros número 7,9 y 11, así mismo se tomaron la muestra de los 3 retro lavados de dichos filtros. Cada una de las muestras fue recolectada en recipientes con volúmenes de 200ml para luego ser preservadas con la respectiva cadena de frío como lo establece la norma NTC-ISO 5667-5, cada una de

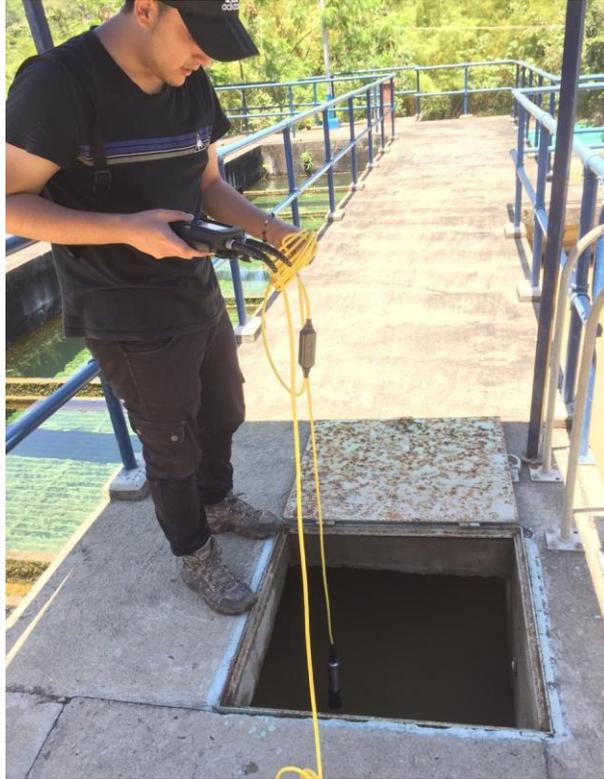
las respectivas muestras en cada punto se midió In-situ conductividad, oxígeno disuelto y pH para posteriormente ser trasladadas a los laboratorios de la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga donde se determinaron solidos suspendidos, solidos disueltos y solidos totales, dichos datos asociados con la turbiedad de entrada permitieron realizar la correlación estadística para luego generar la ecuación.

Los parámetros para medidos y posteriormente analizados con su correspondiente metodología la cual se muestra en la tabla 1.

*Tabla 1. Parámetros a medir en muestras de agua de filtros entrada y salida*

<b>Parámetro</b>	<b>Método empleado</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Referencia</b>	<b>Frecuencias De recolección de muestras</b>
Turbiedad	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	Laboratorio AMB PTAP BOSCONIA-BGA	NTC-4707 2130 B. Método Nefelométrico	Cada hora
Solidos Totales	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	Laboratorio UPB-BGA	NTC-ISO 897 2540 B. Sólidos Totales secados a 103–105 ° C	Cada hora
Solidos Disueltos	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	Laboratorio UPB-BGA	NTC-ISO 897	Cada hora
Solidos Suspendidos	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	Laboratorio UPB-BGA	NTC 1063 2540 E. Sólidos fijos y volátiles encendidos a 550 ° C	Cada hora
pH	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater	PTAP Bosconia  In situ	4500-H+ B. Método Electrométrico	Cada hora

*Fuente: Autor*



*Figura 8 Mediciones de parámetros de muestreo.*

*Fuente: Autor*

La duración de muestreo fue de 24 horas las cuales permitieron la recolección de muestras con un total de 122 muestras de agua 23 en la entrada de los filtros, 23 en cada una de las salidas de los filtros 7,9 y 11 respectivamente, con frecuencias cada hora y 30 muestras de retro lavados de los filtros 7,9 y 11.

#### **4.1.2 Fase 2. Evaluación de las carreras de filtración**

En esta fase se hizo una recolección de datos que permitió hacer el balance de masas, y obtener los datos de turbiedades y concentración a la entrada del filtro, salida de cada uno de los filtros y de la carrera de filtración .En cada uno de estos puntos se midió turbiedad, y se tomaron muestras cada hora que fueron preservadas y trasladadas a los laboratorios de la facultad de Ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana donde se determinaron los sólidos totales , disueltos y suspendidos con valores que permitieron la correlación entre solidos suspendidos – turbiedad con su respectiva ecuación, así mismo con el caudal de

salida del retro lavado y los sólidos suspendidos fue posible determinar la carga de lodos a la salida del lavado.

Para complementar el estudio, debido a que las concentraciones varían en la salida de lodos, se realizará una curva de concentración de sólidos de totales a la salida del filtro, el área bajo la curva por los caudales en el tiempo dando como resultado la masa de lodo en el sistema.

#### **4.1.3 Fase 3. Sedimentabilidad de Lodos a diferentes concentraciones.**

En la investigación se estableció el comportamiento de sedimentabilidad del lodo por gravedad en función del tiempo. Así mismo, se determinó la curva para conocer el tiempo de sedimentación de lodos obtenidos en los retro lavados de los filtros 7,9 y 11. Se analizaron con (2) concentraciones diferentes, 100% y 50% de lodo. Para el modelamiento de la curva, se tomaron las lecturas en el cono Imhoff con tiempos de sedimentación como se indican en la tabla 2.

*Tabla 2. Determinación de tiempos para estudio de sedimentabilidad de lodos*

<b>Tiempo/ciclo</b>	<b>Duración de ciclo</b>
6 tomas de 33 segundos	2min
5 tomas de 1min	6,33 min
3 tomas de 5min	21,33 min
6 tomas de 10min	86,33 min
2 tomas de 15min	101,33 min
3 tomas de 20min	170,33 min
2 tomas de 30 min	210,33min

*Fuente: Autores.*

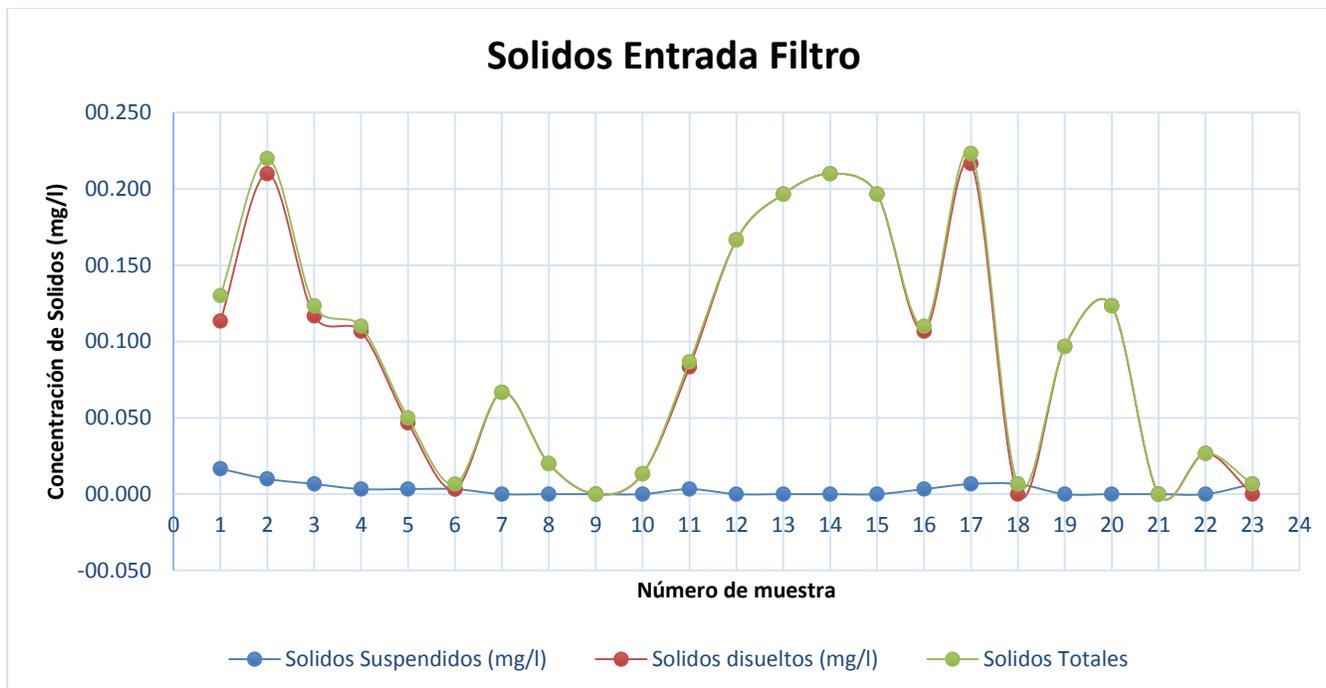
La prueba se basó en un tiempo de aproximadamente tres horas donde se realizaron tres

repeticiones por cada concentración con el fin de garantizar el comportamiento de la curva y lograr generar una mayor certeza y confiabilidad. Las mediciones las cuales lograron la estabilidad de la curva fueron determinadas por el autor.

## **5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Fase 1. Recolección de muestras y establecimiento de la ecuación.**

En la gráfica 1 se interpreta los datos de sólidos provenientes de la entrada de los filtros, los cuales son suspendidos, disueltos y totales. Se puede apreciar que los sólidos suspendidos presentan bajas concentraciones siendo 16mg/L el valor más alto lo cual indica que la concentración de lodos que entran al filtro, no es relevante debido a que la etapa previa a la filtración (sedimentación) remueve la mayor parte de los sólidos suspendidos. Por otro lado, la concentración de sólidos totales y disueltos son semejantes, ya que aguas arriba de la planta se realizan actividades de minería lo cual incrementa la concentración de este producto de minerales.



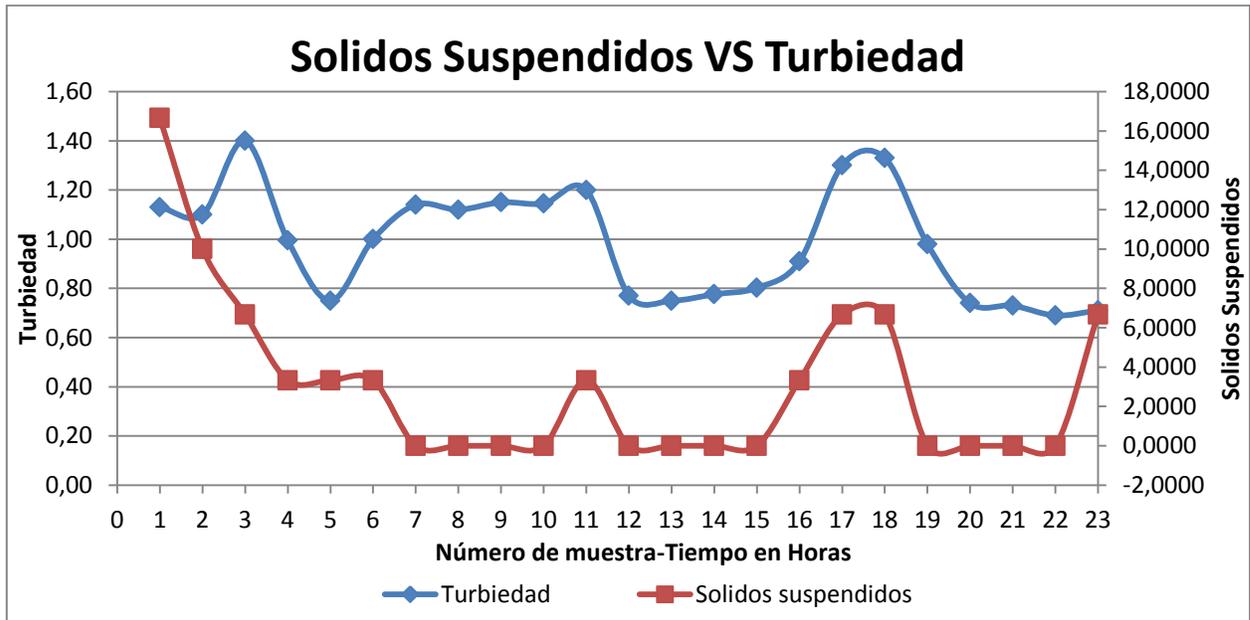
Gráfica 1 Sólidos en la entrada del Filtro

Fuente: Autor.

La concentración máxima de sólidos totales analizados en el laboratorio fue de 220 mg/l, y 16,66 mg/l de sólidos suspendidos dejando en evidencia que la mayoría de los sólidos fueron disueltos debido a partículas insolubles en el agua de forma micro granular de tamaño 0,45 micrómetro o menor a 0,45 micrómetros las cuales sobreviven al proceso de sedimentación y filtración, demostrando que la mayoría de los sólidos suspendidos fueron removidos en el proceso de sedimentación.

En la gráfica 2 se relacionan los sólidos suspendidos presentes en la entrada del filtro con la turbiedad de entrada de los filtros, se observa que tiene un comportamiento parabólico presentando valores máximos de 16,67 mg/L de sólidos suspendidos cuando la turbiedad es de 1,40 UNT, sin embargo se presentan valores que no coinciden entre sí generando altibajos en la gráfica, este comportamiento permite verificar que los sólidos que se encuentran presentes y turbiedades calculadas en el laboratorio del PTAP Bosconia AMB

son muy bajas y casi nulos con respecto a los sólidos debido a la remoción del proceso de sedimentación . Dichas variables determinaron el modelamiento de la correlación estadística y la ecuación generada por el software estadístico.



Gráfica 2 Turbiedad del agua cruda y sólidos suspendidos a la entrada de los filtros

Fuente: Autor.

En el análisis estadístico se obtuvo un coeficiente pearson de 0,421 como se indica en la tabla 3 interpretándose como una correlación mínima por lo tanto indica que no existe correlación entre la turbiedad del agua cruda y los sólidos suspendidos debido a la concentración de sólidos que es poco representativa. El siguiente análisis se obtuvo con el software estadístico IBM (International Business Machines) SPSS (Stratical Product and Service Solutions Statistics).

Tabla 2 Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Valor del coeficiente de Pearson = R	Interpretación
<input type="checkbox"/> R = 1	<input type="checkbox"/> Correlación perfecta
<input type="checkbox"/> R mayor a 0,9 y menor a 1	<input type="checkbox"/> Correlación excelente
<input type="checkbox"/> R entre 0,8 y 0,9	<input type="checkbox"/> Correlación aceptable
<input type="checkbox"/> R entre 0,6 y 0,8	<input type="checkbox"/> Correlación regular
<input type="checkbox"/> R entre 0,3 y 0,6	<input type="checkbox"/> Correlación minima
<input type="checkbox"/> R menor a 0,3 y mayor a 0	<input type="checkbox"/> No hay correlación

Fuente. (Bencardino, 2012)

Tabla 3 Correlación estadística entre turbiedad y sólidos suspendidos

Correlaciones		Turbiedad entrada de los filtros	Solidos Suspendidos entrada filtros (mg/l)
Turbiedad entrada de los filtros	Correlación de Pearson	1	,421*
	Sig. (bilateral)		,046
	N	23	23
Solidos Suspendidos entrada filtros (mg/l)	Correlación de Pearson	,421*	1
	Sig. (bilateral)	,046	
	N	23	23

Fuente: Autor

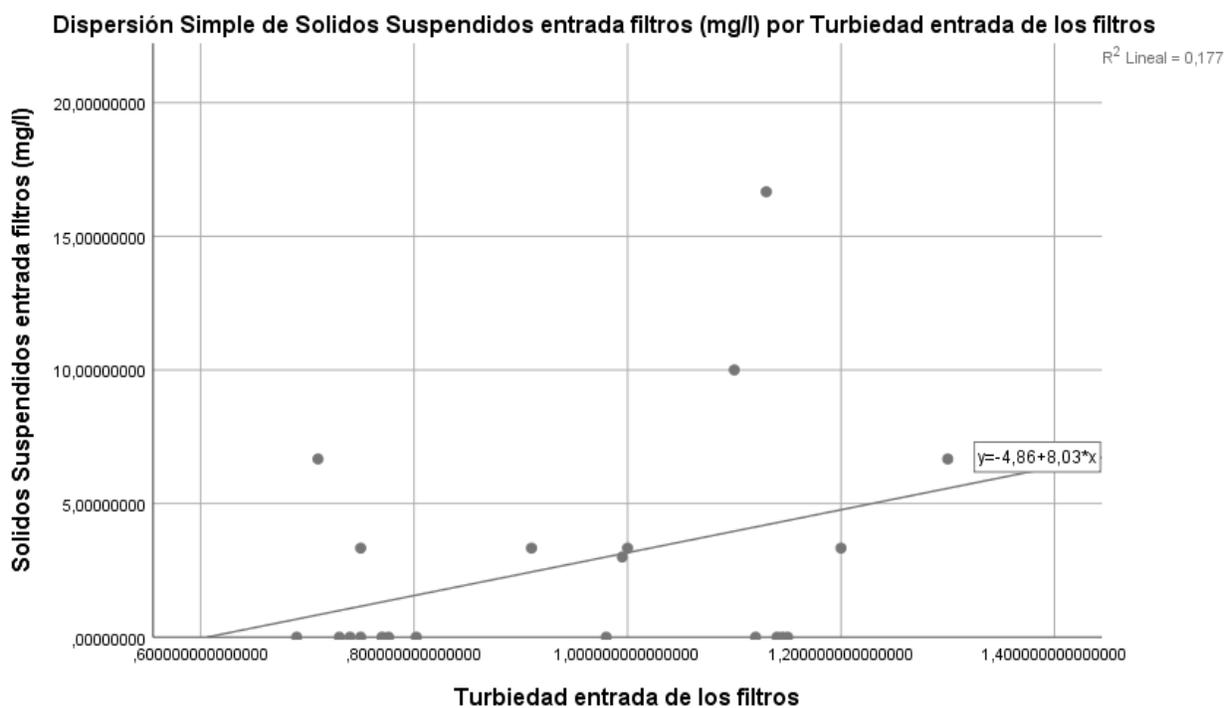
$$Y = -4,86 + 8,03 * x = -4,86 + 8,03 * x \quad (1)$$

$Y = \text{Solidos suspendidos } \left(\frac{mg}{L}\right) = \text{Solidos suspendidos (mg/L)}$

$x = \text{Turbiedad (UNT)} = \text{Turbiedad (UNT)}$

En la gráfica 2 se evidencia el diagrama de dispersión simple, en donde se analiza el comportamiento de los sólidos suspendidos en mg/L Vs. la Turbiedad de los filtros en

unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) como variable independiente. Se logra verificar que al no haber correlación entre los datos no existe un comportamiento lineal entre todos los datos generados en la fase experimental, a si mismo la generación de la ecuación (1) la cual permite estimar cuantitativamente los sólidos suspendidos que se producirán en los filtros en función de la turbiedad y los cuales ingresarán posteriormente a la planta de lodos no es una ecuación confiable.



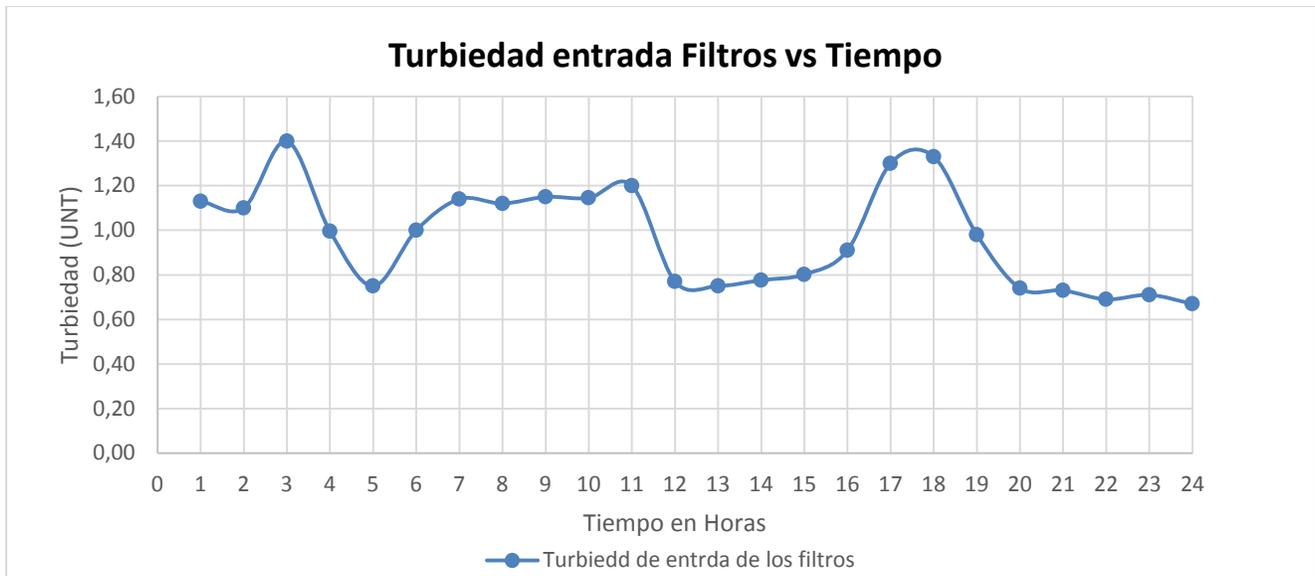
Gráfica 3 Dispersión simple entre Turbiedad del agua cruda y sólidos suspendidos

Fuente: Autor.

## 5.2 FASE 2. Determinación de carreras de filtración y balance de masas

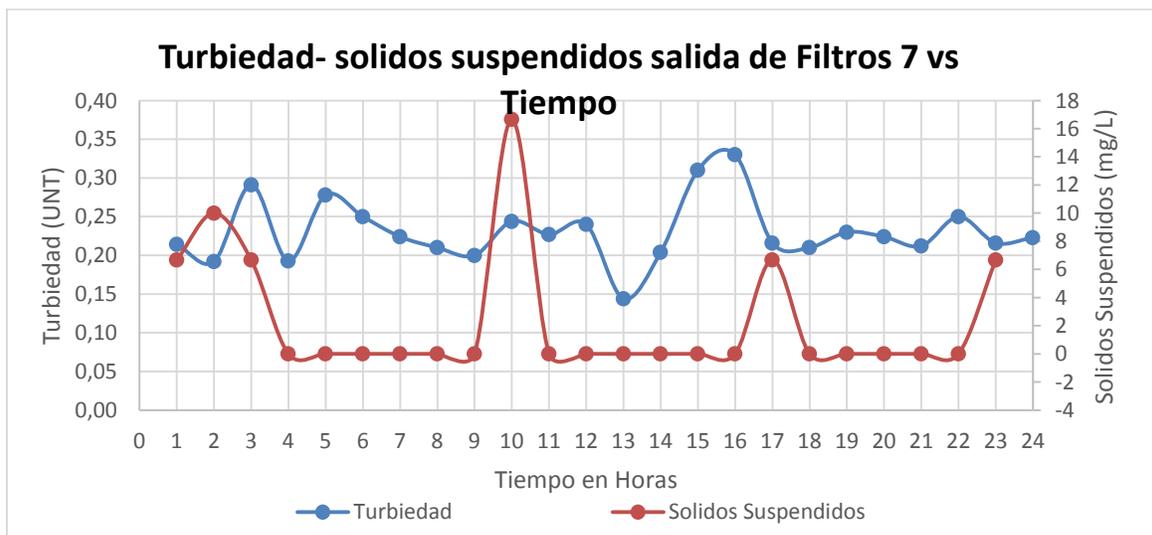
Para lograr definir las carreras de filtración se tuvo en cuenta los datos de turbiedades de salida y entrada de filtros evaluando el comportamiento de la curva durante el periodo de muestreo que fue de 24 horas, pero debido a las bajas mediciones en términos de turbiedad en un rango de {0,69 – 1,40} UNT como se muestra en la gráfica 3 las turbiedades de entrada a los filtros y cada una de las salidas de los filtros como se representan en las graficas 4,5 y 6 en rangos {0,13 – 0,33}UNT para la salida del filtro número 7, {0,11 –

0,324}UNT para la salida del filtro número 9 y {0,194- 0,32} UNT no determinan el establecimiento de las carreras de filtración para el periodo de muestreo , teniendo en cuenta las bajas turbiedades en entrada y salida de los filtros ,retribuido a la remoción de partículas en los sedimentadores y durante el proceso de filtración.



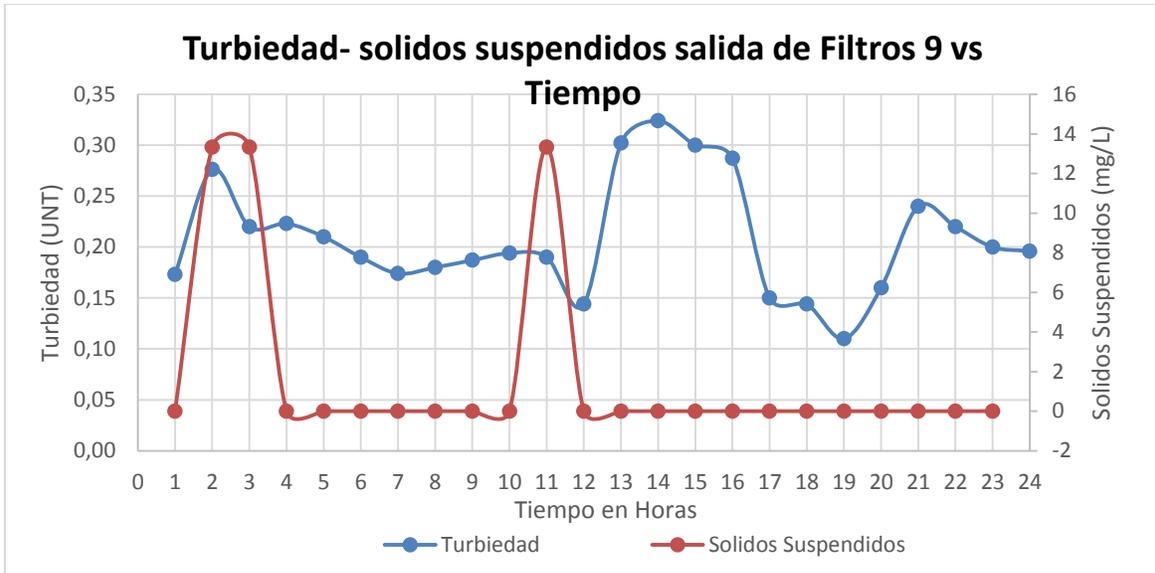
Gráfica 4 Turbiedades de entrada de filtro durante el muestreo

Fuente: Autor.



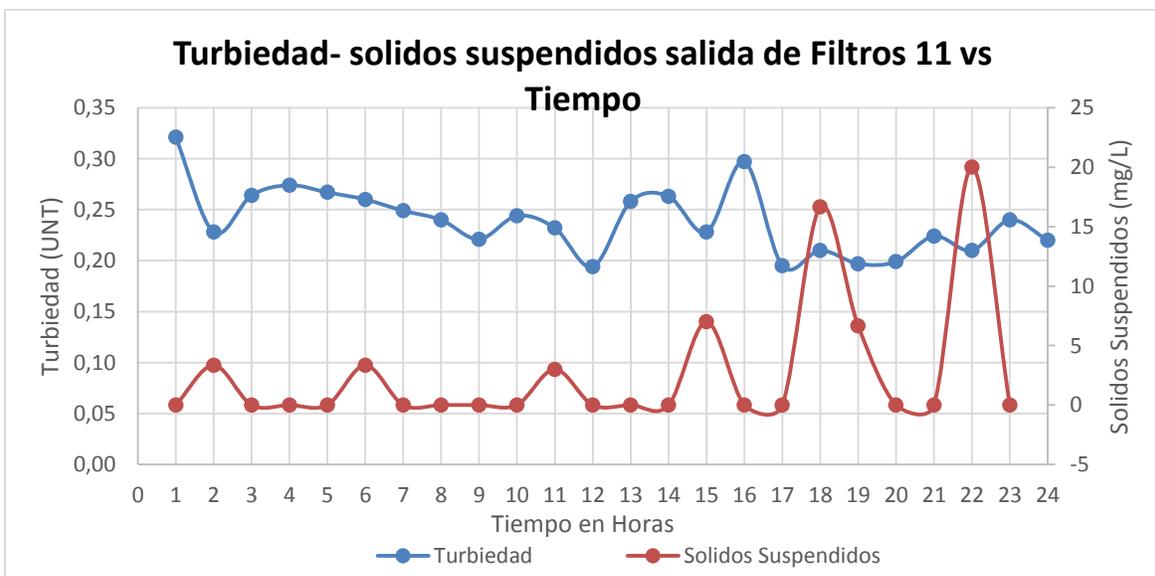
Gráfica 5 Turbiedades-solidos suspendidos de salida de filtro 7 durante el muestreo

Fuente: Autor.



Gráfica 6 Turbiedades-sólidos suspendidos de salida de filtro 9 durante el muestreo

Fuente: Autor.



Gráfica 7 Turbiedades-sólidos suspendidos de salida de filtro 11 durante el muestreo

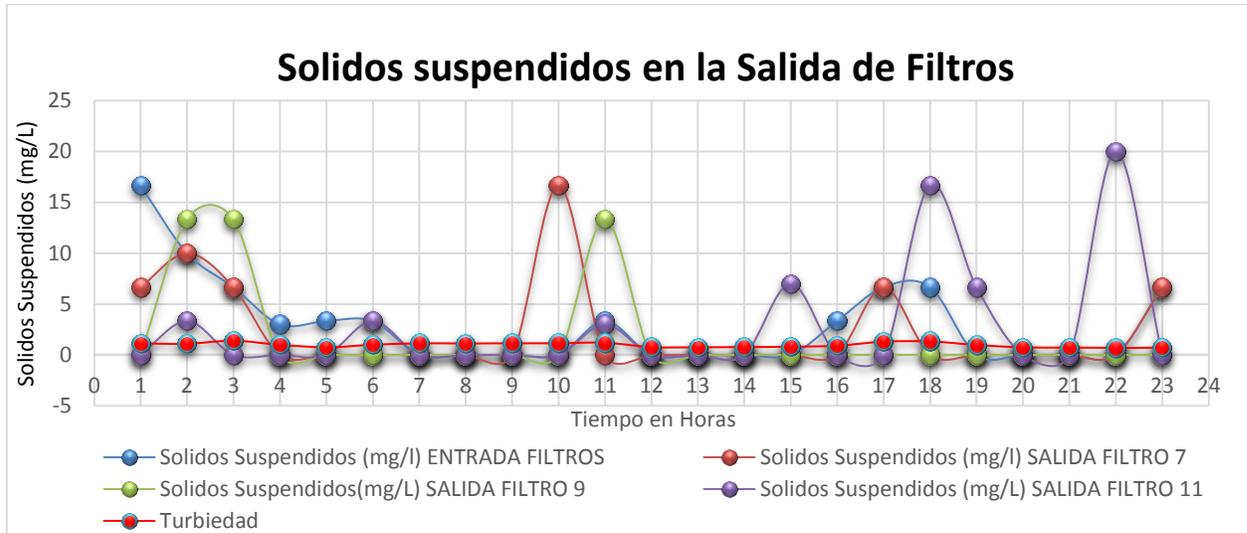
Fuente: Autor.

Para el balance de masas con los datos obtenidos en las mediciones y análisis de laboratorio se representó el cálculo de carga de lodos en términos de kilogramos/día de lodo que sale en los lavados de los filtros 7,9, y 11 como se aprecia en la tabla 5 , los cuales fueron 0,06810944 (kg/d) para el filtro 7, 0,005378714 (kg/d) para el filtro 9 , 0,002523757 (kg/d)

para el filtro 11 y con un promedio total de masa de los tres filtros nombrados anteriormente de 0,083288754 (kg/d) lo cual indica que es poco significativo la masa de lodos generados por los filtros debido a las bajas cantidades que se producen en un día , atribuido a la excelente remoción hecha por los filtros durante el proceso los cuales se ven representados en la grafica 7

Tabla 4. Balance de masas entrada y salidas filtros - descarga de retrolavados

Caudal de salida y entrada de filtros (L/s)	Caudal de lavado filtros (L/h)	Caudal de lavado de filtros (m3/d)	Carga de lodos (kg/h) --- solidos suspendidos que salen en los retro lavados en un segundo de los filtros 7	Carga de lodos (kg/h) --- solidos suspendidos que salen en los retro lavados en un segundo de los filtros 9	Carga de lodos (kg/h) - -- solidos suspendidos que salen en los retro lavados en un segundo de los filtros 11	Carga de lodos (kg/h) -- - solidos suspendidos que salen en los retro lavados en un segundo del promedio de los filtros
69.5	4170	6004.8	0.0417	0.069500139	0.1000802	0.07042678
69.5	4170	6004.8	0	-0.013899861	0.0400322	0.00871078
69.5	4170	6004.8	0	-0.027799722	0.0400322	0.004077493
69.5	4170	6004.8	0.01251	0.01251	0.0180144	0.0143448
69.5	4170	6004.8	0.013899861	0.013899861	0.0200158	0.015938507
69.5	4170	6004.8	0.013899861	0.013899861	0	0.009266574
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	-0.069500139	0	0	-0.023166713
69.5	4170	6004.8	0.013899861	-0.0417	0.0020014	-0.00859958
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	0	0	-0.0420336	-0.0140112
69.5	4170	6004.8	0.013899861	0.013899861	0.0200158	0.015938507
69.5	4170	6004.8	0	0.027800139	0.0400322	0.02261078
69.5	4170	6004.8	0.027800139	0.027800139	-0.060048	-0.001482574
69.5	4170	6004.8	0	0	-0.0400322	-0.013344067
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	0	0	0	0
69.5	4170	6004.8	0	0	-0.120096	-0.040032
69.5	4170	6004.8	0	0.0278	0.040032	0.022610667
		<b>Sumatoria de solidos que salen en los retro lavados</b>	<b>0.068109444</b>	<b>0.005378714</b>	<b>0.002523757</b>	<b>0.083288754</b>



Gráfica 8 Turbiedad-sólidos suspendidos de entrada y salida de filtros 7,9 y 11 durante el muestreo

Fuente: Autor.

### 5.3 FASE 3. Sedimentabilidad de lodo en los filtros

Esta investigación permitió conocer y determinar el tiempo que tarda el lodo en sedimentar a diferentes concentraciones. La cantidad de lodos a medida que pasa el tiempo es mayor sin importar las concentraciones con la cual se trabajó, para cada una de las repeticiones el tiempo de sedimentación es menor a 10 minutos alcanzando valores máximos de concentración de lodo de aproximadamente de 6 mg con un tiempo de estabilización de 100 minutos en un volumen de 1000 ml (muestra de 100% lodo) y 3mg de lodo en un tiempo de estabilización de 100 minutos con un volumen de 1000ml (muestra 50% lodo) . Debido a la baja cantidad de lodos que hay producto del proceso de tratamiento anterior en los sedimentadores removiendo la mayoría de las partículas siendo poco significativas para el proceso de tratamiento de lodos.

Tabla 5 Tiempo de Sedimentación de lodos de los filtros por método cono Imhoff

Muestra de lodo - 1000 mL				
Tiempo (Minutos)	R1	R2	R3	Promedio
0,33	0	0	0	0
0,67	0	0	0	0

1	0	0	0	0
1,33	0	0	0	0
1,67	0,2	0	0	0,06666667
2	0,2	0,1	0	0,1
2,33	0,3	0,1	0,1	0,16666667
3,33	0,6	0,2	0,3	0,36666667
4,33	1,4	0,7	0,9	1
5,33	1,8	0,9	1,3	1,33333333
6,33	2,5	1,4	1,8	1,9
11,33	4	2,5	3	3,16666667
16,33	4,5	3	3,5	3,66666667
21,33	5	3	3,9	3,96666667
31,33	5	3,9	4	4,3
41,33	5	4	4	4,33333333
51,33	5,3	4,1	4,1	4,5
61,33	5,4	4,1	4,1	4,53333333
71,33	5,4	4,1	4,1	4,53333333
86,33	5,5	4,5	4,3	4,76666667
101,33	5,8	4,9	4,4	5,03333333
130,33	5,9	4,9	4,4	5,06666667
150,33	5,9	5	4,4	5,1
170,33	5,9	5	4,4	5,1
190,33	5,9	5	4,4	5,1
210,33	5,9	5	4,4	5,1

Fuente: Autor.

Tabla 6 Tiempo de Sedimentación de lodos de los filtros por método cono Imhoff a una concentración de 500ml de lodo

Muestra de lodo - 500 mL + 500 mL agua				
Tiempo (Minutos)	R1	R2	R3	Promedio
0,33	980	990	990	986,6667
0,67	940	950	970	953,3333
1	770	800	840	803,3333
1,33	580	600	600	593,3333
1,67	300	300	400	333,3333
2	150	125	200	158,3333
2,33	100	70	80	83,33333
3,33	60	65	70	65
4,33	55	55	50	53,33333
5,33	52	50	50	50,66667
6,33	51	48	49	49,33333
7,33	50	47	48	48,33333
10,33	50	47	48	48,33333
13,33	49	47	47	47,66667
16,33	48	47	47	47,33333
19,33	48	47	47	47,33333

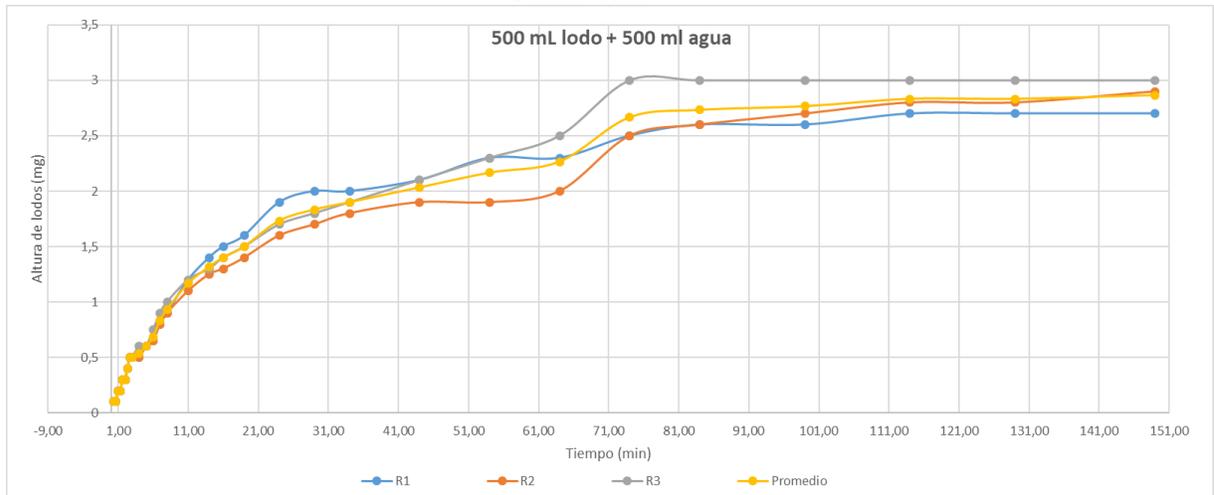
24,33	47	46	46	46,33333
29,33	47	45	45	45,66667
34,33	46	45	45	45,33333
44,33	45	44	44	44,33333
54,33	45	44	44	44,33333
64,33	45	44	44	44,33333
74,33	45	44	44	44,33333
84,33	44	43	43	43,33333
99,33	44	43	43	43,33333
114,33	44	43	43	43,33333
129,33	44	43	43	43,33333
144,33	44	43	43	43,33333
159,33	44	43	43	43,33333

Fuente: Autor.



Gráfica 9 Curva de sedimentabilidad para 1000 ml de lodo

Fuente: Autor.



Gráfica 10 Curva de sedimentabilidad para 500 ml de lodo diluido con 500 ml de agua

Fuente: Autor.

## **6 CONCLUSIONES**

- Las variables sólidos suspendidos y turbiedad presentan comportamiento semejante no lineal con altibajos, fundamentado por la ecuación de primer grado que permite hacer una tendencia de la concentración de sólidos suspendidos que producirán los filtros 7,9 y 11 que posteriormente ingresarán a la planta de lodos.
- La ecuación que se generó permite predecir la concentración de lodos en un tiempo de 24 horas cada hora correspondientemente.
- Se estableció una ecuación de correlación sólidos suspendidos- turbiedad de entrada en la etapa de filtración de la PTAP Bosconia, pero al no haber correlación entre turbiedad y sólidos suspendidos la ecuación no es confiable.
- La mayor cantidad de lodo en 100% de concentración en volumen de 1000 ml fue de 6mg presentando baja concentración para la etapa de filtración.
- Se evaluaron las condiciones reales de producción de sólidos de la planta de Bosconia para la etapa de filtración.

## **7 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un muestreo más prolongado durante tiempos secos y tiempo lluviosos durante aproximadamente un año.
- Se deben aumentar los volúmenes de muestra recolectada con el fin de que los datos sean más representativos ya que hay baja producción de sólidos en los filtros.
- Se deberán tomar caudales filtro a filtro específicamente con el fin de establecer detalladamente esta información en tiempos secos y lluviosos.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bencardino, C. M. (2012). Estadística y muestreo. Bogotá: ECOE.

Lodos producidos en el tratamiento del agua potable - Francisco Ramírez Quirós - tecnicaindustrial.es. (2019). Retrieved from <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-222-lodos-producidos-tratamiento-agua-potable.aspx>

Etapas del Proceso de Potabilización. (2019). Retrieved from <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion> (2019). Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n25/v13n25a02.pdf>

Grupo-epm.com. (2019). [online] Disponible en : <http://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC%20Calidad%20de%20Agua.pdf> [Acceso 10 Feb. 2019].

AMB.COM.CO. (2019). Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A e.s.p. [online] disponible en: <http://www.amb.com.co/frminformacion.aspx?inf=36> [acceso 11 feb. 2019].

Grupo-epm.com. (2019). [online] disponible en: <http://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC%20Calidad%20de%20Agua.pdf>

Lozano-Rivas, W. A., & Lozano Bravo, G. (2015). Potabilización del agua: principios de diseño y control de procesos y laboratorio. Universidad Piloto de Colombia.

Agudelo Patiño, j. F., & Alvear daza, a. E. (2015). ESTUDIO DE LA SEDIMENTABILIDAD DE LOS SÓLIDOS PRESENTES EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DEL AGUA RESIDUAL DÓMESTICA DE LA CIUDAD DE CALI. SANTIAGO DE CALI. ALDANA TIQUE, A. J., & PÉREZ ROJAS, R. A. (2017). propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una ptap convencional. caso de estudio: planta de tratamiento de agua potable del espinal - Tolima. Bogotá.

S.A.S., G. (2019). Sólidos en suspensión. Retrieved 1 November 2019, from <https://co.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/suspended-solids.html>

Vera B., N. (2007). Alternativas de potabilización para el agua que abastecerá a la ampliación del aeropuerto internacional de la ciudad de Mexico. Mexico D.F.

Giraldo G, G. I. (1995). MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUAS. Manizales

COLOMBIA, I. (2019). Retrieved 1 November 2019, from <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC-ISO5667-5.pdf>

Conductividad del Agua. (2019). Retrieved 1 November 2019, from <https://www.experimentoscientificos.es/conductividad/conductividad-del-agua/>

## 9 ANEXOS

*Anexo 1. ENTRADA DE FILTROS*

Numero de Muestra	caudal (m3/d)	Caudal (l/s)	Turbiedad cruda (UNT)	Volumen (ml)	Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso Capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)	Solidos suspendidos (kg/m3)	Solidos Suspendidos (mg/l)	Solidos disueltos (mg/l)	Solidos Totales
EF 1	74511,36	862,4	112	30	0,0836	0,0841	97,0408	97,0442	0,01666667	16,6667	113,3333	130,0000
EF 2	72880,992	843,53	80	30	0,0837	0,084	47,6435	47,6498	0,01	10,0000	210,0000	220
EF 3	56612,736	655,24	68	30	0,0887	0,0889	68,613	68,6165	0,00666667	6,6667	116,6667	123,3333
EF 4	53790,912	622,58	47	30	0,0835	0,0836	58,1886	58,1918	0,00333333	3	106,6667	110,0000
EF 5	119737,44	1385,85	45	30	0,0813	0,0814	56,7729	56,7743	0,00333333	3,3333	46,6667	50,0000
EF 6	127311,264	1473,51	46	30	0,0857	0,0858	117,1416	117,1417	0,00333333	3,3333	3,3333	6,66666667
EF 7	115182,432	1333,13	41	30	0,0824	0,0824	52,0663	52,0683	0	0	66,6667	66,6666667
EF 8	121009,248	1400,57	32	30	0,0862	0,0862	62,3157	62,3163	0	0	20,0000	20,0000
EF 9	120767,328	1397,77	28	30	0,0847	0,0847	93,4458	93,4458	0	0	0	0,0000
EF 10	59577,984	689,56	23	30	0,0825	0,0825	107,1886	107,189	0	0	13,3333333	13,3333
EF 11	80113,536	927,24	26	30	0,0847	0,0848	50,138	50,1405	0,00333333	3,3333	83,3333	87
EF 12	74316,096	860,14	24	30	0,0917	0,0917	54,1311	54,1361	0	0	166,666667	166,666667
EF 13	57563,136	666,24	25	30	0,0853	0,0853	59,214	59,2199	0	0	196,6667	196,6667
EF 14	56324,16	651,9	23	30	0,0913	0,0913	62,3132	62,3195	0	0	210,0000	210,0000
EF 15	530587,584	6141,06	24	30	0,087	0,087	54,8137	54,8196	0	0	196,6667	196,6667
EF 16	56194,56	650,4	23	30	0,0902	0,0903	57,0909	57,0941	0,00333333	3,3333	106,6667	110
EF 17	67151,808	777,22	24	30	0,0886	0,0888	47,6459	47,6524	0,00666667	6,6667	216,6667	223,333333
EF 18	66204,864	766,26	22	30	0,0873	0,0875	50,0812	50,0812	0,00666667	6,6667	0,0000	6,6667
EF 19	65807,424	761,66	22	30	0,0828	0,0828	55,9418	55,9447	0	0	96,6666667	96,6667
EF 20	64913,184	751,31	23	30	0,0878	0,0878	97,0407	97,0444	0	0	123,333333	123,3333
EF 21	64121,76	742,15	25	30	0,0869	0,0869	79,049	79,049	0	0	0	0,0000
EF 22	58608,576	678,34	28	30	0,0897	0,0897	77,2913	77,2921	0	0	26,6666667	26,6666667
EF 23	55219,968	639,12	24	30	0,0856	0,0858	93,6086	93,6086	0,00666667	6,66666667	0	6,66666667

*Fuente. Autores.*

*Anexo 2. Carga de lodos de entrada de solidos suspendidos*

*Fuente. Autores.*

Carga de lodos (kg/d)- -- solidos suspendidos que entran en un segundo al filtro	SS lodos(mg/L)	SS lodos (kg/m3)	caudal de lodos (m3/d)	caudal de lodos L/s)
1241,856	73	0,073	17011,726	196,894977
728,80992	73	0,073	9983,69753	115,552055
377,41824	73	0,073	5170,11288	59,8392694
179,30304	73	0,073	2456,20603	28,4283105
399,1248	73	0,073	5467,46301	63,2808219
424,37088	73	0,073	5813,29973	67,2835616
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
267,04512	73	0,073	3658,15233	42,339726
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
187,3152	73	0,073	2565,96164	29,6986301
447,67872	73	0,073	6132,58521	70,9789954
441,36576	73	0,073	6046,1063	69,9780822
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
0	73	0,073	0	0
368,13312	73	0,073	5042,91945	58,3671233

Anexo 3. Cálculo de solidos de salida filtros 7

Numero de Muestra	Turbiedad cruda	Volumen	Solidos sedimentables		Solidos disueltos		Solidos Suspendidos	Solidos disueltos	Solidos Totales	Remoción solidos suspendidos (%)
			Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso Capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)				
SF 1	112	30	0,0878	0,088	75,7254	75,7285	6,6667	103,3333	110,0000	60,00
SF 2	80	30	0,0837	0,084	54,1331	54,1369	10,0000	126,6667	136,666667	0,00
SF 3	68	30	0,0872	0,0874	79,219	79,2224	6,6667	113,3333	120,0000	0,00
SF 4	47	30	0,0858	0,0858	64,1658	64,1676	0	60,0000	60,0000	100,00
SF 5	45	30	0,0807	0,0807	59,2157	59,2184	0,0000	90,0000	90,0000	100,00
SF 6	46	30	0,0858	0,0858	59,3677	59,3691	0,0000	46,6667	46,6666667	100,00
SF 7	41	30	0,0849	0,0849	51,6121	51,614	0	63,3333	63,3333333	#¡DIV/0!
SF 8	32	30	0,0862	0,0862	55,8084	55,8098	0,0000	46,6667	46,6667	#¡DIV/0!
SF 9	28	30	0,0851	0,0851	77,9209	77,923	0,0000	70	70,0000	#¡DIV/0!
SF 10	23	30	0,0868	0,0873	58,1849	58,1924	16,6667	250	266,6667	#¡DIV/0!
SF 11	26	30	0,0881	0,0881	55,8065	55,8127	0	206,6667	207	100,00
SF 12	24	30	0,0869	0,0869	54,1595	54,1671	0	253,333333	253,333333	#¡DIV/0!
SF 13	25	30	0,0866	0,0866	51,4194	51,4272	0	260,0000	260,0000	#¡DIV/0!
SF 14	23	30	0,0842	0,0842	64,1628	64,17	0	240,0000	240,0000	#¡DIV/0!
SF 15	24	30	0,0894	0,0894	50,4724	50,4797	0	243,3333	243,3333	#¡DIV/0!

SF 16	23	30	0,0904	0,0904	40,2259	40,2295	0,0000	120,0000	120	100,00
SF 17	24	30	0,0899	0,0901	50,7401	50,7453	6,6667	173,3333	180	0,00
SF 18	22	30	0,0873	0,0873	50,1392	50,145	0,0000	193,3333	193,3333	100,00
SF 19	22	30	0,091	0,091	50,4743	50,4818	0,0000	250	250,0000	#¡DIV/0!
SF 20	23	30	0,0864	0,0864	81,2525	81,2587	0,0000	206,666667	206,6667	#¡DIV/0!
SF 21	25	30	0,0916	0,0916	57,365	57,3715	0,0000	216,666667	216,6667	#¡DIV/0!
SF 22	28	30	0,0909	0,0909	62,3145	62,3203	0	193,333333	193,333333	#¡DIV/0!
SF 23	24	30	0,0911	0,0913	59,2156	59,2186	6,66666667	100	106,666667	0,00

Anexo 4. Cálculo de solidos de salida filtros 9

Numero de Muestra	Turbiedad cruda	Volumen	Solidos sedimentables		Solidos disueltos		Solidos Suspendedos	Solidos disueltos	Solidos Totales	Remoción solidos suspendidos (%)
			Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso Capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)				
SF 1	112	30	0,085	0,085	57,057	57,0602	0,0000	106,6667	106,6667	100,00
SF 2	80	30	0,0857	0,0861	81,2536	81,2571	13,3333	116,6667	130	-33,33
SF 3	68	30	0,0889	0,0893	54,3922	54,3955	13,3333	110,0000	123,3333	-100,00
SF 4	47	30	0,0872	0,0872	57,5017	57,5035	0,0000	60,0000	60,0000	100,00
SF 5	45	30	0,0808	0,0808	53,9278	53,9298	0,0000	66,6667	66,6667	100,00
SF 6	46	30	0,0841	0,0841	54,835	54,8365	0,0000	50,0000	50	100,00
SF 7	41	30	0,085	0,085	57,7305	57,7326	0,0000	70,0000	70	#¡DIV/0!
SF 8	32	30	0,0856	0,0856	51,4227	51,4241	0,0000	46,6667	46,6667	#¡DIV/0!
SF 9	28	30	0,0852	0,0852	89,44	89,4416	0,0000	53,3333333	53,3333	#¡DIV/0!
SF 10	23	30	0,0866	0,0866	57,4989	57,506	0,0000	236,666667	236,6667	#¡DIV/0!
SF 11	26	30	0,0857	0,0861	51,6103	51,6154	13,3333	170,0000	183	-300,00
SF 12	24	30	0,0859	0,0859	53,9254	53,9318	0,0000	213,333333	213,333333	#¡DIV/0!
SF 13	25	30	0,0868	0,0868	47,6414	47,6505	0,0000	303,3333	303,3333	#¡DIV/0!
SF 14	23	30	0,086	0,086	56,7693	56,7769	0,0000	253,3333	253,3333	#¡DIV/0!
SF 15	24	30	0,0872	0,0872	57,0841	57,0927	0,0000	286,6667	286,6667	#¡DIV/0!
SF 16	23	30	0,088	0,088	54,8083	54,8192	0,0000	363,3333	363,333333	100,00
SF 17	24	30	0,0891	0,0891	58,1737	58,181	0,0000	243,3333	243,333333	100,00
SF 18	22	30	0,0889	0,0889	64,1649	64,1709	0,0000	200,0000	200,0000	100,00
SF 19	22	30	0,0872	0,0872	51,6093	51,6152	0,0000	196,666667	196,6667	#¡DIV/0!
SF 20	23	30	0,0899	0,0899	55,8086	55,8132	0,0000	153,333333	153,3333	#¡DIV/0!
SF 21	25	30	0,0852	0,0852	48,5385	48,5421	0,0000	120	120,0000	#¡DIV/0!
SF 22	28	30	0,084	0,084	54,1302	54,1375	0,0000	243,333333	243,333333	#¡DIV/0!
SF 23	24	30	0,0847	0,0847	73,3836	73,3897	0,0000	203,333333	203,333333	100,00

Fuente. Autores.

Anexo 5. Cálculo de solidos de salida filtros 11

Numero de Muestra	Turbiedad cruda	Volumen	Solidos sedimentables		Solidos disueltos		Solidos Suspendedos	Solidos disueltos	Solidos Totales	Remoción solidos suspendidos (%)
			Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso Capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)				
SF 1	112	30	0,0862	0,0862	48,5375	48,5422	0,0000	156,6667	156,6667	100,00
SF 2	80	30	0,0847	0,0848	77,4001	77,4048	3,3333	156,6667	160	66,67
SF 3	68	30	0,0886	0,0886	57,0888	57,0925	0,0000	123,3333	123,3333	100,00
SF 4	47	30	0,083	0,083	90,3353	90,3355	0	6,6667	6,6667	100,00
SF 5	45	30	0,0825	0,0825	50,476	50,4785	0,0000	83,3333	83,3333	100,00
SF 6	46	30	0,0836	0,0837	54,1636	54,1646	3,3333	33,3333	36,6666667	0,00
SF 7	41	30	0,0847	0,0847	57,366	57,368	0	66,6667	66,6666667	#¡DIV/0!
SF 8	32	30	0,0898	0,0898	93,6068	93,6071	0,0000	10,0000	10,0000	#¡DIV/0!
SF 9	28	30	0,0859	0,0859	57,0497	57,0612	0,0000	383,333333	383,3333	#¡DIV/0!
SF 10	23	30	0,0864	0,0864	68,6038	68,6167	0,0000	430	430,0000	#¡DIV/0!
SF 11	26	30	0,083	0,0831	79,2069	79,2217	3	493,3333	497	0,00
SF 12	24	30	0,0887	0,0887	89,678	89,5919	0	-2870	-2870	#¡DIV/0!
SF 13	25	30	0,0847	0,0847	73,3806	73,3888	0	273,3333	273,3333	#¡DIV/0!
SF 14	23	30	0,0838	0,0838	75,7187	75,7285	0	326,6667	326,6667	#¡DIV/0!
SF 15	24	30	0,0873	0,0875	81,2502	81,2568	7	220,0000	226,6667	#¡DIV/0!
SF 16	23	30	0,0834	0,0834	57,7287	57,7353	0,0000	220,0000	220	100,00
SF 17	24	30	0,0886	0,0886	57,5024	57,5069	0,0000	150,0000	150	100,00
SF 18	22	30	0,0866	0,0871	53,9298	53,9328	16,6667	100,0000	116,6667	-150,00
SF 19	22	30	0,0906	0,0908	89,6866	89,6943	6,6667	256,666667	263,3333	#¡DIV/0!
SF 20	23	30	0,0916	0,0916	56,772	56,7788	0,0000	226,666667	226,6667	#¡DIV/0!
SF 21	25	30	0,092	0,092	57,0564	57,0624	0,0000	200	200,0000	#¡DIV/0!
SF 22	28	30	0,0901	0,0907	54,3898	54,3972	20	246,666667	266,666667	#¡DIV/0!
SF 23	24	30	0,0907	0,0907	75,7237	75,7302	0	216,666667	216,666667	100,00

Fuente. Autores.

Anexo 6. Cálculo de solidos de retro lavado de filtros

**Lavados de filtros**

Numero de muestra	Volumen (ml)	Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)	Solidos suspendidos (mg/L)	Solidos disueltos (mg/L)	Solidos Totales
LF 1-7	20	0,0913	0,0952	55,9382	55,9453	195	355	550
LF 2-7	20	0,0919	0,0951	50,1343	50,1416	160	365	525
LF 3-7	20	0,0892	0,0926	77,3937	77,4043	170	530	700
LF 4-7	20	0,088	0,0905	93,5992	93,6104	125	560	685
LF 5-7	20	0,0896	0,0924	89,4349	89,4432	140	415	555
LF 6-7	20	0,0902	0,0914	90,329	90,3365	60	375	435
LF 7-7	20	0,091	0,0919	117,1333	117,1463	45	650	695
LF 8-7	20	0,0904	0,0913	107,1789	107,1910	45	605	650

LF 9-7	20	0,0905	0,0914	89,9744	89,9846	45	510	555
LF 10 -7	20	0,0884	0,0887	118,0392	118,0492	15	500	515

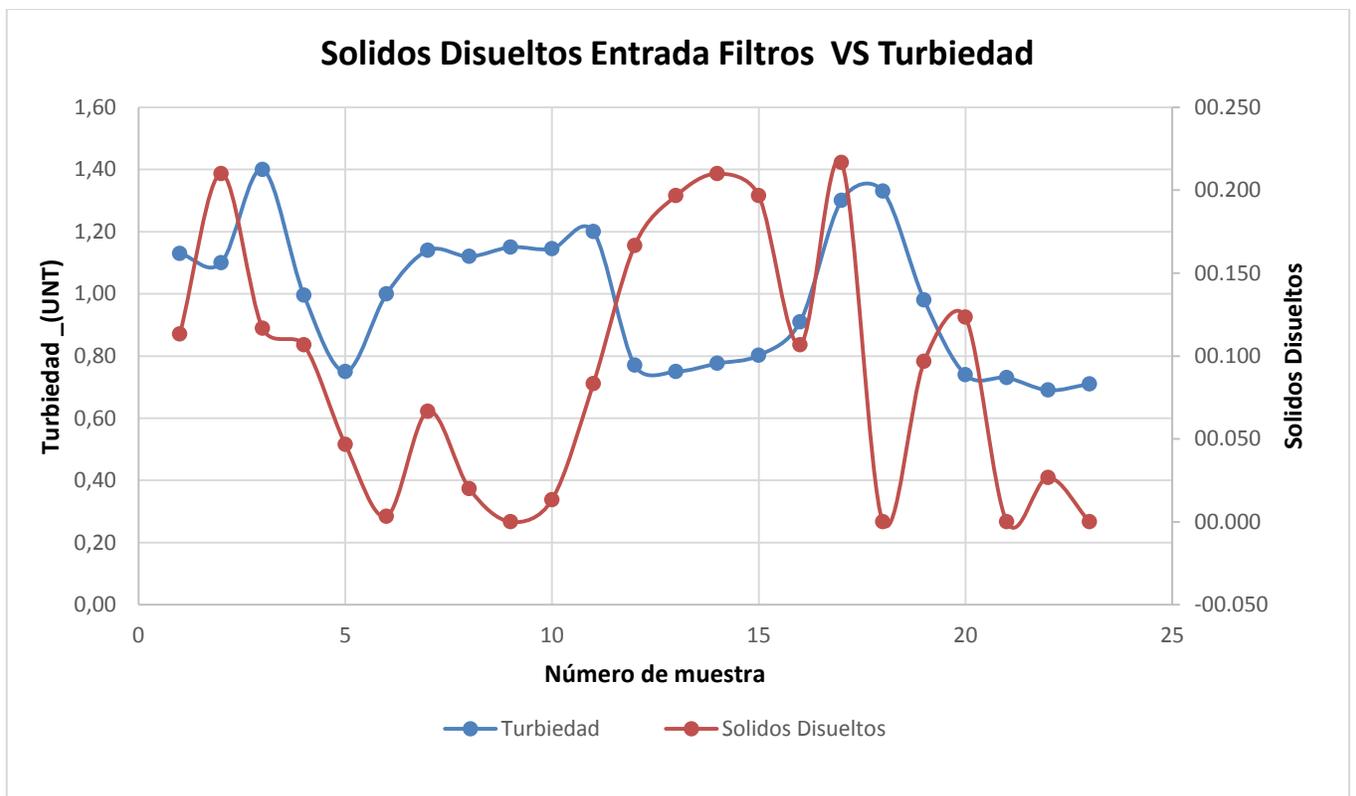
Numero de muestra	Volumen (ml)	Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)	Solidos suspendidos (mg/L)	Solidos disueltos (mg/L)	Solidos Totales
LF 1-9	20	0,0899	0,09	23,47	23,4723	5	115	120
LF 2-9	20	0,0911	0,0949	40,2252	40,2291	190	195	385
LF 3-9	20	0,0901	0,0941	54,1627	54,1675	200	240	440
LF 4-9	20	0,0925	0,0954	50,0795	50,0834	145	195	340
LF 5-9	20	0,0912	0,0949	50,7379	50,7425	185	230	415
LF 6-9	20	0,0871	0,0893	51,4201	51,4270	110	345	455
LF 7-9	20	0,0877	0,0898	68,6102	68,6176	105	370	475
LF 8-9	20	0,0884	0,0896	79,2143	79,2230	60	435	495
LF 9-9	20	0,089	0,0904	93,4405	93,4472	70	335	405
LF 10 -9	20	0,0903	0,0914	97,0378	97,0434	55	280	335

Numero de muestra	Volumen (ml)	Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)	Solidos suspendidos (mg/L)	Solidos disueltos (mg/L)	Solidos Totales
LF 1-11	20	0,0903	0,0912	85,6652	85,6777	45	625	670
LF 2-11	20	0,0889	0,0917	77,9106	77,9227	140	605	745
LF 3-11	20	0,0903	0,096	79,0407	79,0510	285	515	800
LF 4-11	20	0,0901	0,0946	77,2855	77,2930	225	375	600
LF 5-11	20	0,0921	0,0951	57,5002	57,5065	150	315	465
LF 6-11	20	0,0902	0,0928	58,1735	58,1755	130	100	230
LF 7-11	20	0,0904	0,0926	64,1636	64,1653	110	85	195
LF 8-11	20	0,0876	0,0886	51,6096	51,6106	50	50	100
LF 9-11	20	0,0918	0,0924	62,3128	62,3146	30	90	120
LF 10 -11	20	0,0910	0,0917	53,9256	53,9278	35	110	145

Fuente. Autores.

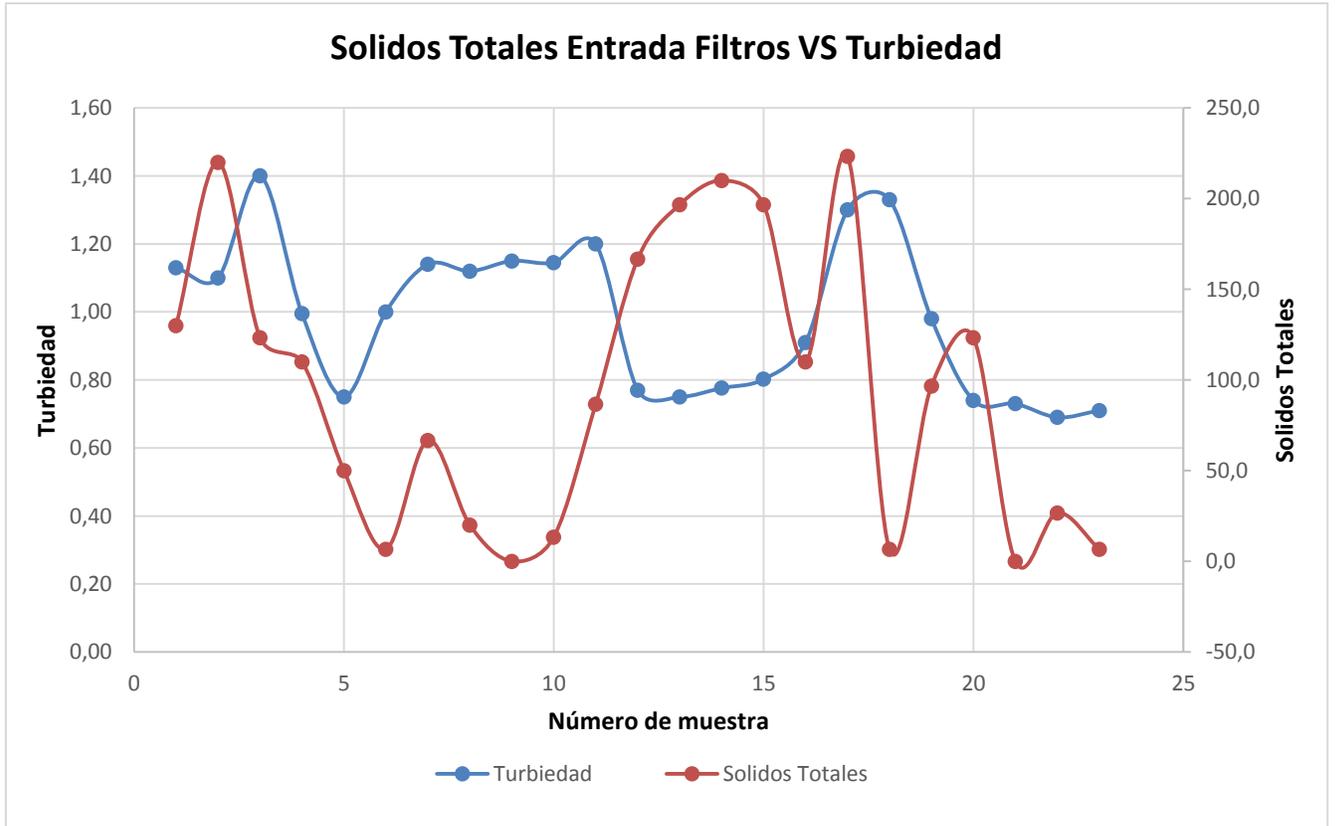
	Solidos Suspendidos (mg/l) ENTRADA FILTROS	Solidos suspendidos (kg/m3) SALIDA FILTRO 7	Solidos Suspendidos (mg/l) SALIDA FILTRO 7	Solidos suspendidos (kg/m3) SALIDA FILTRO 9	Solidos Suspendidos(mg/L) SALIDA FILTRO 9	Solidos suspendidos (kg/m3) SALIDA FILTRO 11	Solidos Suspendidos (mg/L) SALIDA FILTRO 11	Sumatoria de SALIDAS promedio de filtros (mg/L)	Sumatoria de SALIDAS de filtros (kg/m3)	ENTRADA - SALIDA DE FILTROS (BALANCE DE MASAS)
1	16.6667	0.0066667	6.6667	0	0	0	0	2.222233333	0.002222233	14.44446667
2	10	0.01	10	0.0133333	13.3333	0.0033333	3.3333	8.888866667	0.008888867	1.111133333
3	6.6667	0.0066667	6.6667	0.0133333	13.3333	0	0	6.666666667	0.006666667	3.33333E-05
4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	3.3333	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3333
6	3.3333	0	0	0	0	0.0033333	3.3333	1.1111	0.0011111	2.2222
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0.0166667	16.6667	0	0	0	0	5.555566667	0.005555567	-5.555566667
11	3.3333	0	0	0.0133333	13.3333	0.003	3	5.444433333	0.005444433	-2.111133333
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0.007	7	2.333333333	0.002333333	-2.333333333
16	3.3333	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3333
17	6.6667	0.0066667	6.6667	0	0	0	0	2.222233333	0.002222233	4.444466667
18	6.6667	0	0	0	0	0.0166667	16.6667	5.555566667	0.005555567	1.111133333
19	0	0	0	0	0	0.0066667	6.6667	2.222233333	0.002222233	-2.222233333
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0.02	20	6.666666667	0.006666667	-6.666666667
23	6.6666667	0.00666667	6.6666667	0	0	0	0	2.22222223	0.002222222	4.444444447

Fuente. Autores.



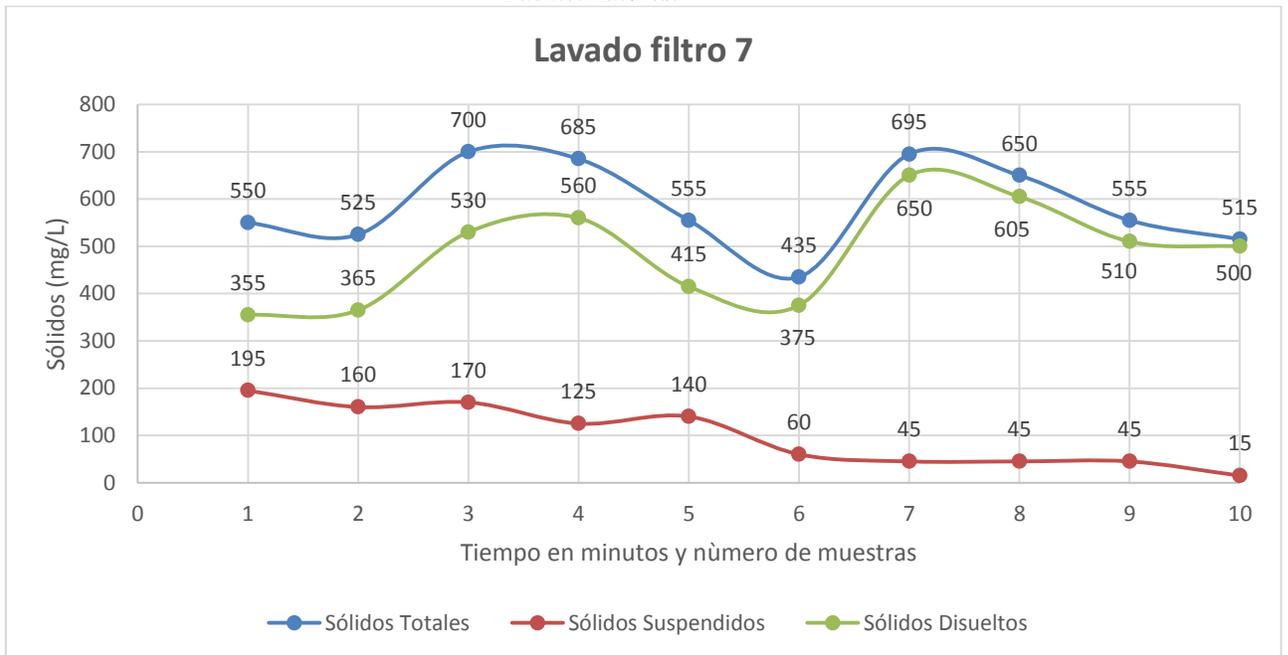
Anexo 8. Gráfico de sólidos disueltos en la entrada del filtro.

Fuente. Autores.



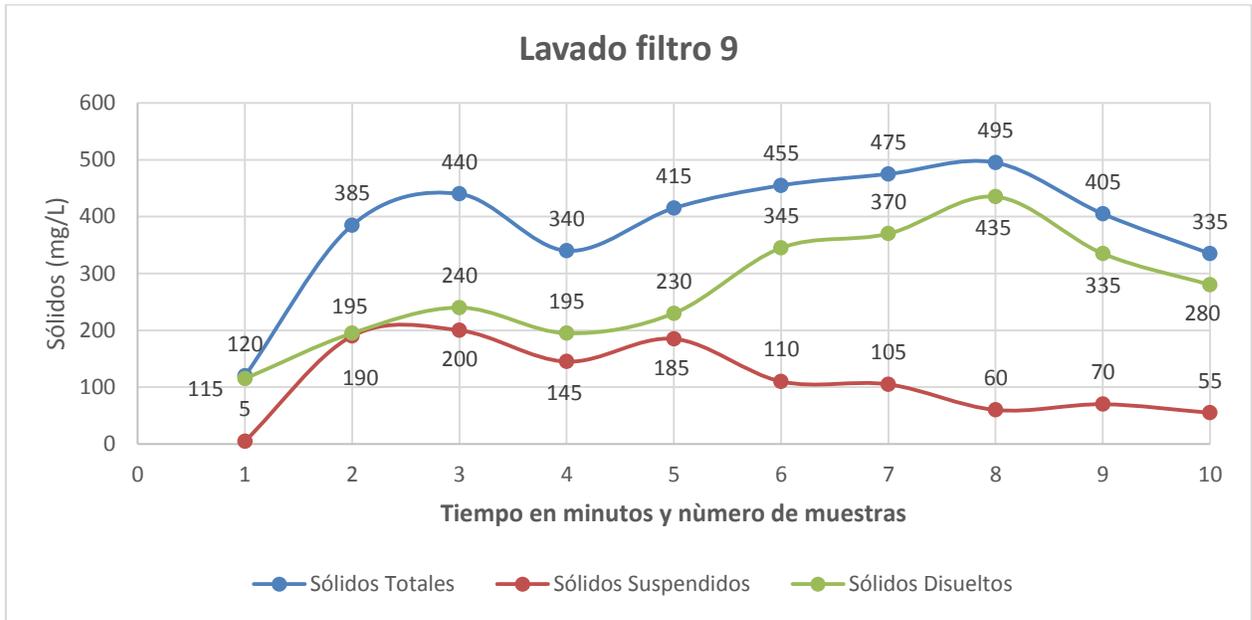
Anexo 9. Gráfico de sólidos totales en la entrada del filtro.

Fuente. Autores.



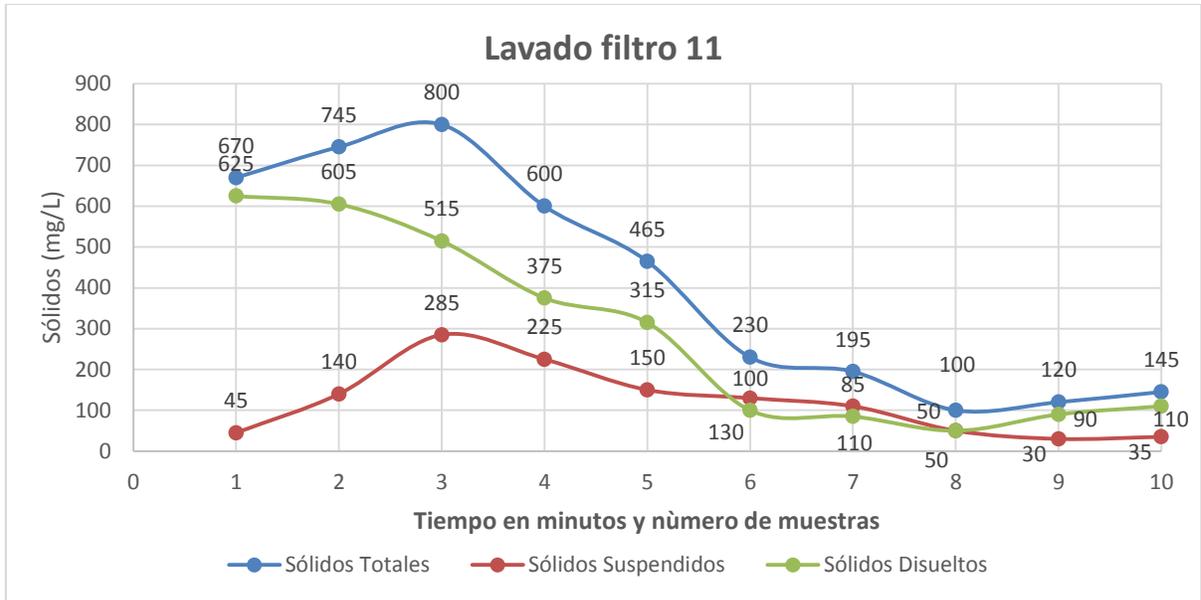
Anexo 10. Gráfico de lavado de filtro 7.

Fuente. Autores.



Anexo 11. Gráfico de lavado de filtro 9.

Fuente. Autores.



*Anexo 12. Gráfico de lavado de filtro 7.  
Fuente. Autores.*

*Anexo 12. Calculo retro lavados de solidos totales, suspendidos y disueltos.*

Numero de muestra	Volumen (ml)	Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)	Solidos suspendidos (mg/L)	Solidos disueltos (mg/L)	Solidos Totales
LF 1-7	20	0.0913	0.0952	55.9382	55.9453	195	355	550
LF 2-7	20	0.0919	0.0951	50.1343	50.1416	160	365	525
LF 3-7	20	0.0892	0.0926	77.3937	77.4043	170	530	700
LF 4-7	20	0.088	0.0905	93.5992	93.6104	125	560	685
LF 5-7	20	0.0896	0.0924	89.4349	89.4432	140	415	555
LF 6-7	20	0.0902	0.0914	90.329	90.3365	60	375	435
LF 7-7	20	0.091	0.0919	117.1333	117.1463	45	650	695
LF 8-7	20	0.0904	0.0913	107.1789	107.1910	45	605	650
LF 9-7	20	0.0905	0.0914	89.9744	89.9846	45	510	555
LF 10 -7	20	0.0884	0.0887	118.0392	118.0492	15	500	515

Numero de muestra	Volumen (ml)	Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)	Solidos suspendidos (mg/L)	Solidos disueltos (mg/L)	Solidos Totales
LF 1-9	20	0.0899	0.09	23.47	23.4723	5	115	120
LF 2-9	20	0.0911	0.0949	40.2252	40.2291	190	195	385
LF 3-9	20	0.0901	0.0941	54.1627	54.1675	200	240	440
LF 4-9	20	0.0925	0.0954	50.0795	50.0834	145	195	340
LF 5-9	20	0.0912	0.0949	50.7379	50.7425	185	230	415
LF 6-9	20	0.0871	0.0893	51.4201	51.4270	110	345	455
LF 7-9	20	0.0877	0.0898	68.6102	68.6176	105	370	475
LF 8-9	20	0.0884	0.0896	79.2143	79.2230	60	435	495
LF 9-9	20	0.089	0.0904	93.4405	93.4472	70	335	405
LF 10 -9	20	0.0903	0.0914	97.0378	97.0434	55	280	335

Numero de muestra	Volumen (ml)	Peso filtro limpio (g)	Peso filtro con muestra (g)	Peso capsula (g)	Peso capsula después del Horno (g)	Solidos suspendidos (mg/L)	Solidos disueltos (mg/L)	Solidos Totales
LF 1-11	20	0.0903	0.0912	85.6652	85.6777	45	625	670
LF 2-11	20	0.0889	0.0917	77.9106	77.9227	140	605	745
LF 3-11	20	0.0903	0.096	79.0407	79.0510	285	515	800
LF 4-11	20	0.0901	0.0946	77.2855	77.2930	225	375	600
LF 5-11	20	0.0921	0.0951	57.5002	57.5065	150	315	465
LF 6-11	20	0.0902	0.0928	58.1735	58.1755	130	100	230
LF 7-11	20	0.0904	0.0926	64.1636	64.1653	110	85	195
LF 8-11	20	0.0876	0.0886	51.6096	51.6106	50	50	100
LF 9-11	20	0.0918	0.0924	62.3128	62.3146	30	90	120
LF 10 -11	20	0.0910	0.0917	53.9256	53.9278	35	110	145

Fuente. Autores.

