



**Estimación y análisis de la producción de lodos provenientes de la planta de producción de agua potable del municipio de Apartadó: Métodos de estandarización, estimación y reducción del impacto ambiental en las fuentes superficiales del municipio de Apartadó**

Daniela Vanessa Ulloa Gutiérrez 1

Ingeniera Bioquímica

Asesor

Catalina Andrea Lugo de Ossa, Magister en ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería

Ingeniería bioquímica

Apartadó, Antioquia

2023

---

Cita	(Ulloa, 2022)
Referencia	Ulloa Gutiérrez, D., (2022). <i>Estimación y análisis de la producción de lodos provenientes de la planta de producción de agua potable del municipio de Apartadó</i> . [Ingeniería Bioquímica]. Universidad de Antioquia, Carepa-Antioquia, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	

---



CENDOI, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)  
**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)  
**Rector:** Jhon Jairo Arboleda Céspedes.  
**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina.  
**Jefe departamento:** Lina María Gonzáles Rodríguez.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto principalmente a Dios, por darme la sabiduría y la dedicación para culminar exitosamente mis estudios académicos. A mis padres Esther, Jaime, y mi tía Margarita por su apoyo incondicional y su constante esfuerzo por verme realizada como profesional, a mis hermanos Romario, Angeline y Lila por su amor ilimitado, a mi abuela Lila quién no logró verme cumplir este sueño, pero quien día a día creyó en mí, a mi compañero de vida y amigo Luis Romano por su paciencia y comprensión.

De manera especial dedico esta tesis a mi hermana Mayra Ulloa, quien cada día y de manera constante me incentivo a seguir adelante, nunca me abandonó y me dio valor y apoyo para nunca desistir.

## **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a la Universidad de Antioquia, institución que me abrió sus puertas y me brindó todo el conocimiento para ser la persona integra y capaz que hoy en día soy, quien también me brindo la oportunidad de conocer personas y vivir nuevas experiencias. A mis amigos por estar conmigo en mi proceso académico. Al docente Juan Quintero por brindarme ayuda y acompañamiento en lo largo de mi carrera, a mi asesora interna Catalina Lugo por su paciencia y apoyo, a la empresa Aguas Regionales EPM y mi asesor externo Neider Montoya por acogerme en tan importante empresa y permitirme desarrollar mis ideas en sus instalaciones.

## Tabla de contenido

### Contenido

Resumen .....	9
Abstract .....	10
Introducción .....	11
1 Objetivos .....	12
1.1 Objetivo general .....	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2 Marco teórico .....	13
3 Metodología .....	19
3.1 DETERMINACIÓN DE LODOS .....	19
3.1.1 Análisis de Prueba test de jarra.....	19
3.1.2 Determinación del índice SVI.....	20
3.1.3 Espesamiento .....	22
3.2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS LODOS PROVENIENTES DE PPAP DEL MUNICIPIO DE APARTADÓ .....	25
3.2.1 Caracterización de lodo residual PPAP Apartadó .....	25
3.2.2 Evaluación de impactos ambientales .....	25
3.2.3. Estrategias de control ambiental .....	28
4 Análisis y resultados.....	29
4.1 DETERMINACIÓN DE LODOS .....	29
4.1.1 Análisis de prueba test de jarra .....	29
4.1.2 Determinación del índice SVI.....	30
4.1.3. Espesamiento .....	33
4.2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS LODOS.....	34
4.2.1 Aspectos e impactos ambientales.....	34

5 Conclusiones .....38

6 Referencias .....39

7 Anexos.....41

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Caracterización inicial de agua cruda .....	29
<b>Tabla 2</b> Sedimentación de lodos.....	30
<b>Tabla 3</b> Cálculo del índice de volumen de lodos (SVI) .....	32
<b>Tabla 4</b> Espesamiento de lodos .....	33
<b>Tabla 5</b> Índice de riesgo para la calidad del agua potable.....	34
<b>Tabla 6</b> Aspectos e impactos ambientales .....	34
<b>Tabla 7</b> Índice de riesgo para la calidad del agua potable.....	35
<b>Tabla 8</b> Alternativa para el tratamiento y la reutilización de lodos.....	36

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Cámara de aquietamiento .....	15
<b>Figura 2</b> Presedimentadores .....	15
<b>Figura 3</b> Floculadores.....	16
<b>Figura 4</b> Sedimentadores.....	17
<b>Figura 5</b> Filtros.....	18
<b>Figura 6</b> Análisis de prueba teste de jarra .....	20
<b>Figura 7</b> Proceso de sedimentación.....	21
<b>Figura 8</b> Aplicación de dosis de polímero aniónico para espesamiento .....	22
<b>Figura 9</b> Estimación de lodo en base húmeda.....	23
<b>Figura 10</b> Lodo espesado para proceso de filtrado.....	23
<b>Figura 11</b> Lodo secado y filtrado .....	24
<b>Figura 12</b> Pesaje del lodo en base seca .....	24
<b>Figura 13</b> Flujograma de unidades en operación para el tratamiento de agua del municipio de Apartadó.....	26
<b>Figura 14</b> Volumen de lodo producido .....	30
<b>Figura 15</b> Porcentaje IRCA.....	36

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>APA</b>	American Psychological Association
<b>CSS</b>	Concentración de sólidos suspendidos
<b>EIA</b>	Evaluación de impacto ambiental
<b>EPM</b>	Empresas públicas de Medellín
<b>IRCA</b>	Índice de riesgo para la calidad del agua potable
<b>NTU</b>	Nephelometric Turbidity Unit
<b>PPAP</b>	Planta de producción de agua potable
<b>SVI</b>	Índice de volumen de lodos
<b>VLF</b>	Volumen de lodos fecales asentados
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## Resumen

Esta investigación se realizó en la planta de producción de agua potable del municipio de Apartadó, Antioquia. En la cual se midió la producción de lodo generado en la planta, mediante procesos a escala de laboratorio, en los que se incluyeron análisis de test de jarra, sedimentación a través de conos Imhoff, determinación del índice de volumen de lodos y espesamiento, posteriormente se realizó el escalado en planta utilizando fórmulas halladas en la literatura. Por otra parte, se estimó y estandarizó el impacto ambiental generado en el proceso y se escogió un tratamiento de lodos para finalmente reducir dicho impacto. Por último, se analizó el efecto de los eventos de alta turbiedad sobre los procesos de potabilización de agua, analizando la variación de coagulante y polímero a través del software de análisis estadístico Statgraphics.

*Palabras clave:* Agua Potable, escala, sedimentación, lodos, tratamiento.

**EJEMPLO:** artículo científico, artículo de revisión, investigación, estilos de citación.

**Abstract**

This research was carried out at the drinking water production plant in the municipality of Apartadó, Antioquia. In which the production of sludge generated in the plant was measured, through laboratory scale processes, which included jar test analysis, sedimentation using Imhoff cones, determination of the sludge volume index and thickening, later the scaling of the plant using formulas found in the literature. On the other hand, the environmental impact generated in the process was estimated and standardized and a sludge treatment was chosen to finally reduce said impact. Finally, the effect of high turbidity events on the water purification processes was analyzed, analyzing the variation of coagulant and polymer through the Statgraphics statistical analysis software.

*Keywords:* Drinking water, scale, sedimentation, sludge, treatment.

## Introducción

El agua potable cada día se convierte en la principal fuente de alimentación humana, el acceso a esta aumenta la calidad de vida y brinda mejoras en la salud de quienes la consumen. Según minvivienda “En Colombia para 2021, el 93% de los colombianos ya cuentan con acceso al servicio de agua potable.” Todo esto se pudo alcanzar a través de programas como agua al barrio, agua al campo y Guajira azul en los cuales se priorizo y se garantizó la continuidad y calidad del agua y además se realizó un aumento de la cobertura para las zonas que ya tenían acceso al servicio. (Minvivienda, 2021)

El proceso de potabilización de agua es fundamental para garantizar que el agua esté libre de contaminantes en todo momento, y que a través de esto se logre erradicar enfermedades gastrointestinales permitiendo así disminuir la tasa de mortalidad por enfermedades relacionadas con el recurso hídrico. (Montoya, 2016)

El río apartado es la principal fuente superficial del municipio y se caracteriza por tener altas turbiedades, característica que aumenta el volumen de lodos producidos los cuales una vez terminado el proceso de potabilización son vertidos nuevamente a la cuenca, pero esta vez con un residuo aluminoso. La estimación de lodos es un proceso que se realiza con la intención de diseñar y plantear una alternativa de tratamiento para estos y finalmente reducir los impactos ambientales que se generan por su vertimiento en las fuentes hídricas, por esta razón esta propuesta busca analizar la producción de lodos provenientes de la planta de potabilización de agua del municipio de Apartadó.

## 1 Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Estimar y analizar la producción de lodos provenientes de la planta de potabilización de agua del municipio de Apartadó.

### 1.2 Objetivos específicos

- Simular a nivel de laboratorio los procesos de pre-sedimentación, floculación y sedimentación utilizados en una planta de potabilización de agua.
- Determinar el índice del volumen de los lodos (SVI)
- Examinar procesos de espesamientos de lodos a partir de polímeros aniónicos
- Evaluar el impacto ambiental de los lodos vertidos en el río Apartadó.
- Proponer un tipo de tratamiento para deshidratar y disponer dichos lodos.
- Analizar el efecto de los eventos de alta turbiedad sobre los procesos de potabilización de agua.

---

## 2 Marco teórico

En la tierra solo el 0.4% del agua es potable sin ningún tratamiento natural, la sociedad actualmente desecha la mayoría de los productos que utiliza a las fuentes hídricas ocasionándole una disposición final inadecuada y generando afectaciones a este recurso vital (BBVA, 2021).

En Colombia se tiene como convicción la creencia de que solo con hervir el agua durante un tiempo determinado es suficiente para purificarla totalmente, sin embargo, el proceso de ebullición sólo estaría eliminando microorganismos y bacterias que puedan estar presentes en el agua, sin tener en cuenta los diferentes compuestos contaminantes que pueden ser igual de peligrosos (Acuatectina, 2017).

Por tal motivo según Zamora A. y Pérez M (2003) la potabilización de esta “se vuelve esencial para resolver los problemas de mala calidad del líquido consumido que afecta los niveles de salud humana y de calidad de vida”. Este proceso se lleva a cabo de diferentes métodos y dependiendo de las tecnologías manejadas en cada población, pero regidas siempre bajo la normatividad vigente del (RESOLUCIÓN 2115 de 2007) el cual establece los usos del agua y define los valores mínimos para dichos usos.

En el municipio de Apartadó este tratamiento proviene de la planta de producción de agua potable garantizando el beneficio de la calidad de vida de las personas como lo establece la legislación colombiana que esta debe ser garantizada óptimamente y cubriendo las necesidades de la población, funcionando constantemente bajo los tratamientos convencionales como la aplicación de insumos químicos para su purificación (Raigosa, 2012)

Una planta de producción de agua potable está compuesta por un grupo de sistemas y estructuras en donde se procesa el agua para el consumo humano. El proceso de potabilización tiene como principal objetivo remover impurezas del agua tales como turbiedad, color, dureza, microorganismos entre otros, y para esto es necesario un conjunto de subprocesos que lo hacen posible. La mayoría de los grandes procesos de potabilización incluyen 5 procesos básicos los cuales son: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, adicional, pueden realizarse procesos para el mejoramiento de la calidad del agua como lo son la pre-sedimentación y la precloración. La coagulación es la aglutinación o aglomeración de partículas suspendidas y coloidales presentes en el agua al adicionar coagulantes como el policloruro de aluminio, por floculación se entiende como la aglomeración de partículas mediante una agitación lenta de la

suspensión coagulada, la sedimentación es el proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por acción de la gravedad, la filtración es el proceso por el cual se remueven o retiran partículas suspendidas al hacerlas pasar por un medio poroso y por último la desinfección es el proceso físico o químico que elimina los organismos patógenos presentes en el agua. (Aguas Regionales S.A E.S.P., 2015)

El proceso de potabilización de agua del municipio de Apartado incluye procesos y unidades fundamentales para el tipo de agua tratada a continuación se da una explicación reducida de cada uno de los procesos.

Se inicia con la etapa 1, captación del agua cruda: En esta etapa se genera la captación del agua, que para la planta Apartadó se cuenta con dos fuentes hídricas para esto, la primera fuente superficial es el río Apartadó, en cual se elaboró una bocatoma lateral que conduce el agua a unos desarenadores, estructuras que fueron diseñadas para retener la arena y sólidos pesados arrastrados por la corriente a través de la diferencia de niveles de flujo de entrada y salida, para así evitar el paso de estos a través del canal de aducción quien conduce el agua finalmente a una cámara de quietamiento. de su construyo una bocatoma lateral y conduce el agua a los desarenadores, estructuras diseñadas para retener la arena y los sólidos más pesados que puede traer la corriente del río con el fin de que no pasen a través del canal de aducción que conduce el agua hacia la cámara de quietamiento. La segunda fuente de captación es la fuente subterránea el pozo Apartadó, en la cual a través de bombeo se succiona el agua hacia la fase aireación.

Etapa 2, Aireación: Como anteriormente se dijo cuando se utiliza el pozo es necesaria una etapa de aireación, esta está conformada por 4 bandejas de aireación que permiten a través de adición de oxígeno oxidar los compuestos metálicos pasándolos de insolubles a solubles (Oxidación directa).

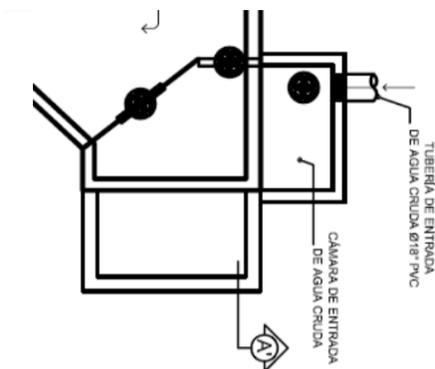
Etapa 3, Quietamiento: Una vez captada el agua, luego de pasar por los desarenadores el agua es conducida a una cámara de quietamiento en la cual se disminuye la velocidad del flujo del agua; esta cuenta con un macromedidor que estima el valor del caudal que es ingresado a la planta en unidades de litros por segundo (L/s), esta estructura se encuentra ubicada en la entrada al sistema y tiene como dimensiones 5,40 metros de alto y un área de 7 m<sup>2</sup> para un volumen total de agua de 37,8 m<sup>3</sup>. Por otra parte, en esta unidad se realiza la precloración cuando las turbiedades son de 20 NTU y cuando se trabaje con el agua de pozo con el fin de oxidar el hierro y el manganeso presente, a la salida de esta se realiza una precoagulación, en la cual se aplica el

60% de la dosis optima del coagulante, este criterio lo toma el operador de turno. En la unidad se realiza toma de muestras de agua cruda para los respectivos análisis de dosificación de coagulantes, polímeros y desinfectantes.

Para el correctivo funcionamiento de la unidad se deben realizar unas purgas para lo cual esta cámara tiene dos válvulas de 6 pulgadas cada una ubicadas en la base de la estructura.

**Figura 1**

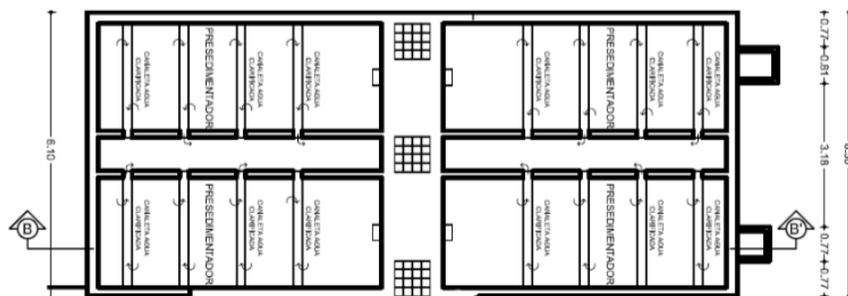
*Cámara de aquietamiento*



Etapa 4, presedimentadores: Una vez termina el proceso anterior, el agua es fluida a través de 4 unidades llamadas presedimentadores, cada una de estas contiene paneles tipo colmena que permiten la precipitación de los sólidos presentes en el agua, actúan en flujo ascendente y tienen una capacidad de 240 m<sup>3</sup>.

**Figura 2**

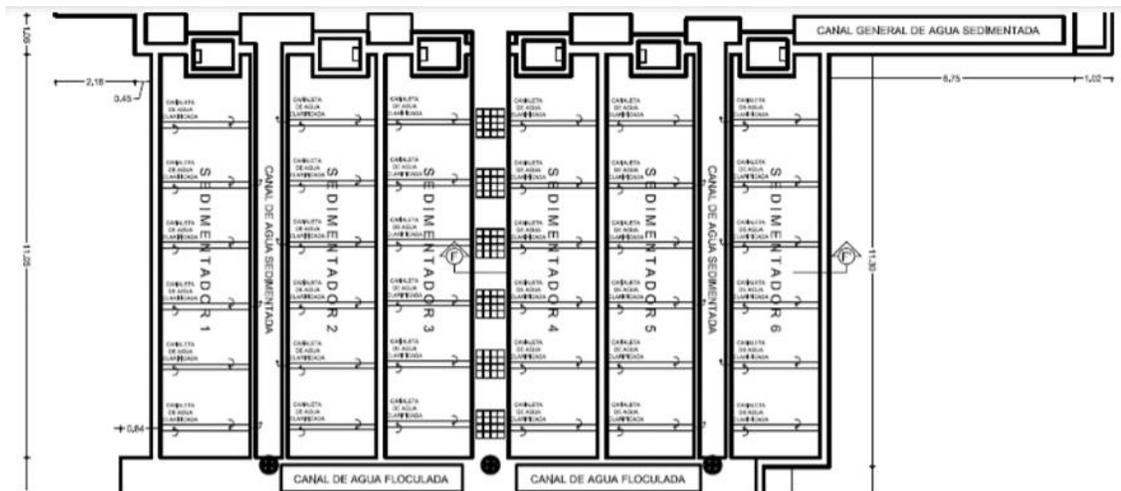
*Presedimentadores*





primera consta de cinco módulos con una capacidad de precipitación del material floculado de 248 m<sup>3</sup> para cada uno; esta estructura tiene en promedio una altura de 5 m, un área en general toda la estructura tiene una altura promedio de 5m, un área de 177 m<sup>2</sup> y volumen total de agua de 1240 m<sup>3</sup>. La segunda tiene una estructura con una altura promedio de 5m, un área de 162 m<sup>2</sup> y un volumen total de agua de 1120 m<sup>3</sup>, ambos sedimentadores poseen dos válvulas de purga de 6", las cuales están ubicadas en el nivel más bajo de las tolvas de sedimentación.

**Figura 4**  
*Sedimentadores*

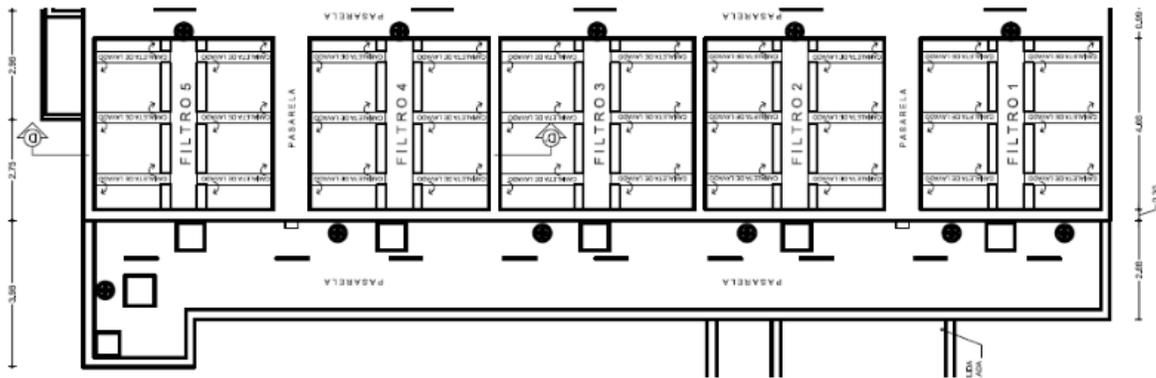


Etapa 8, Filtración: Una vez retirado la mayoría de solidos del agua esta es pasada a la unidad de filtros, 8 filtros rápidos con un flujo descendente constituyen esta unidad, 4 pertenecen a la unidad de la planta antigua y 4 la unidad de la nueva planta, el fondo de estas está compuesto por un falso fondo formado por viguetas prefabricadas de concreto, continuado por un capa de material grueso que permite el drenaje y le da soporte a la unidad, tiene un espesor de 0,6 y está constituido por 3 capas de grava, consta de un lecho filtrante el cual está constituido por una capa inferior de espesor de 0,5 m de arena, y una capa superior de espesor de 0,6 m de antracita, además consta de un borde libre que permite la expansión del lecho filtrante durante los procedimientos de retro lavado.

Los filtros anteriormente mencionados tienen una altura promedio de 5 m, un área total de 26 m<sup>2</sup> y un volumen de 130 m<sup>3</sup>. El agua es clarificada a través de este medio poroso disminuyendo la turbiedad y eliminando el color arrastrado en la etapa de sedimentación.

**Figura 5**

*Filtros*



Etapa 9, Desinfección: El último proceso es la desinfección del agua, la cual consiste en la dosificación de hipoclorito de sodio con una concentración de 0,8% y que es preparado en la planta a través de un generador que utiliza como materia prima la sal de mina. Se realiza un proceso de precloración el cual se da en el canal de agua sedimentada y otra cloración en el canal de agua filtrada, se aplica el químico a través de una tubería por un tiempo de 30 a 40 minutos para así eliminar los microorganismos que afectan la salud del consumidor.

Si bien los procesos químicos conllevan amplios daños ambientales, los procesos de potabilización de agua se centran en el aluminio resultante de este; los lodos aluminosos se caracterizan por contener sólidos en suspensión o disolución que están presentes en el agua y que se remueve durante los procesos de tratamiento, se hacen llamar lodos aluminosos porque al aplicarse coagulantes durante el proceso estos dejan un residual de aluminio que luego termina siendo vertido al río y convirtiéndose en una problemática a nivel ambiental. (Montoya, 2016)

### 3 Metodología

La metodología que se llevó a cabo en las actividades de este proyecto está basada en el cálculo del índice de volumen de lodos (SVI) y Evaluación de impacto ambiental (EIA).

#### 3.1 DETERMINACIÓN DE LODOS

##### 3.1.1 *Análisis de Prueba test de jarra*

###### 3.1.1.1 Materiales, equipos y reactivos

- Equipo de jarras
- Espectrofotómetro
- Turbidímetro
- pH metro
- Beakers de 1000 ml
- Micropipeta de 100  $\mu$ l
- Coagulante
- Polímero catiónico

###### 3.1.1.2 Procedimiento

El agua para tratar se caracterizó midiendo parámetros de turbiedad en un turbidímetro HACH, color en espectrofotómetro (HACH) a una longitud de onda (460 nm) y pH en un pH metro de marca (HACH).

Se tomó una muestra de 6 litros de agua cruda de la cámara de quietamiento, se adicionaron en 6 Beakers de 1000 ml cada uno, se encendió el equipo test de jarra y definió los tiempos de agitación y los gradientes de operación en rpm. Una vez caracterizada la turbiedad inicial se realizó una distribución de dosis basada en una tabla existente que relaciona la turbiedad con la dosis de coagulante y polímero a utilizar, se inició el proceso en el test de jarra por un minuto a un gradiente de 150 RPM, pasado 30 segundos de agitación se adicionó la dosis de polímero a cada jarra (Como se muestra en la tabla 1), posteriormente se realiza la coagulación

con una mezcla rápida a 60 RPM por 5 minutos, luego se inició la floculación con una mezcla lenta por 8 minutos a 40 RPM y por último se realizó el proceso de sedimentación por un tiempo de 12 minutos a 0 RPM.

### ***Figura 6***

*Análisis de prueba test de jarra*



### ***3.1.2 Determinación del índice SVI***

#### **3.1.2.1 Materiales, equipos y reactivos**

- Conos Imhoff
- Varilla de vidrio

#### **3.1.2.2 Procedimiento**

##### ***3.1.2.2.1 Sedimentación***

Una vez terminado el proceso en el equipo de jarras se tomó el volumen y se adicionó a los conos de sedimentación con el mayor cuidado para no dar el floc, se dejó sedimentar por 45 minutos, pasado este tiempo se tomó la varilla de vidrio y se pasó cuidadosamente por las paredes

superiores de los conos sin tocar el sedimento, se dejó reposar por 15 minutos más y se midió finalmente el volumen del lodo.

Para el siguiente proceso se retiró el agua del cono con la ayuda de una manguera y se recolecta el volumen del lodo.

### **Figura 7**

#### *Proceso de sedimentación*



#### **3.1.2.2 Determinación de sólidos suspendidos**

Se envió una muestra de lodos provenientes de la sedimentación a un laboratorio externo (Corpourabá) para su análisis ya que no se tenían los equipos necesarios para realizarlo en el laboratorio por método de gravimetría.

#### **3.1.2.3 Calculo del índice SVI**

El índice SVI se calculó haciendo uso de la ecuación (Eq 1)

$$SVI = VLF/CSS \text{ (Eq 1)}$$

Donde:

- ❖ SVI: Índice del volumen de lodos [ml/g]
- ❖ VLF: Volumen de lodos fecales asentados [ml/m<sup>3</sup>]

❖ CSS: Concentración de sólidos suspendidos [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]

### 3.1.3 Espesamiento

#### 3.1.3.1 Materiales, equipos y reactivos

- Beakers de 1000 ml
- Polímero aniónico
- Pipeta graduada de 10 ml
- Pipeteador de cierre

#### 3.1.3.2 Procedimiento

##### 3.1.3.2.1 Estimación de lodos base húmeda

En 6 Beakers se adicionó 1000 ml de lodo en base húmeda recolectados de los ensayos de SVI anterior, a cada Beaker se aplicó diferentes dosis de polímero aniónico en un rango de 10 a 60 ppm, se dejó actuar y luego se removió con una pipeta graduada el agua con residuos.

### Figura 8

*Aplicación de dosis de polímero aniónico para espesamiento*



**Figura 9**

*Estimación de lodo en base húmeda*

**3.1.3.2.2 Estimación de lodos base seca**

Se Tomó 1000 ml de lodo anteriormente espesado, y se vertieron a través de un filtro de tela de nylon de 100  $\mu\text{m}$ , seguidamente se dejó en reposo al aire libre y luz directa por 72 horas, una vez seco, se pasó el lodo a un Beaker y se pesó en una balanza analítica.

**Figura 10**

*Lodo espesado para proceso de filtrado*



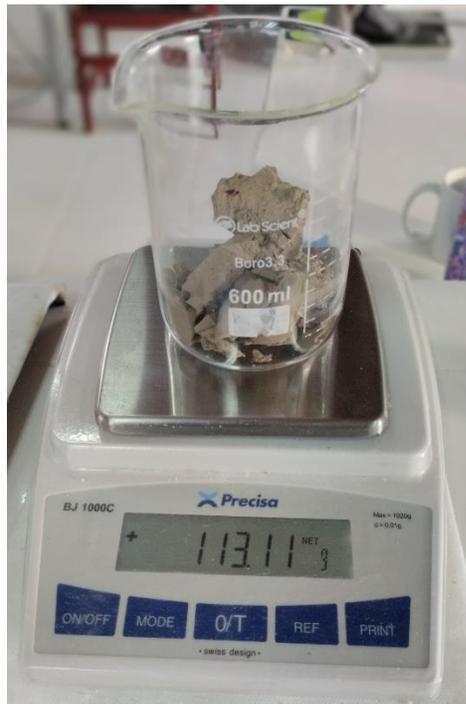
**Figura 11**

*Lodo secado y filtrado*



**Figura 12**

*Pesaje del lodo en base seca*



## **3.2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS LODOS PROVENIENTES DE PPAP DEL MUNICIPIO DE APARTADÓ**

### ***3.2.1 Caracterización de lodo residual PPAP Apartadó***

La caracterización del lodo residual se llevó a cabo inicialmente con la recolección de 2 litros de lodo húmedo del proceso de purga del sedimentador #3, luego de esto la muestra fue llevada a el laboratorio de Corpourabá en donde a través de técnicas cromatográficas se analizaron metales en los lodos, y se realizó un análisis fisicoquímico.

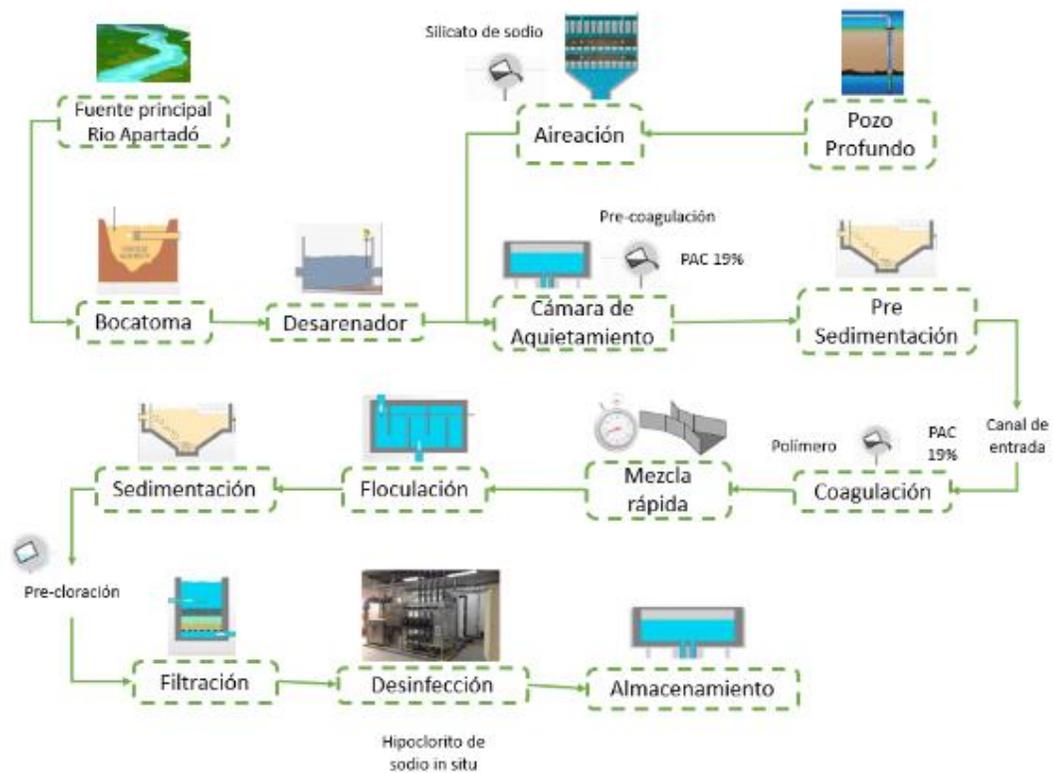
### ***3.2.2 Evaluación de impactos ambientales***

#### **3.2.2.1 Diagnóstico del sistema de agua potable del municipio de Apartadó**

El sistema de agua potable del municipio de Apartadó realiza la captación de agua del río Apartadó y como reserva del pozo Apartadó, esta planta es de tipo convencional con una capacidad máxima de 400L/s con un caudal promedio de tratamiento, actualmente maneja un caudal de 340L/s por disposición de la demanda de este municipio. En esta planta de producción se realizan de forma consecutiva los procesos de pre-sedimentación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección como se observa en la Figura 13, y por último una segunda distribución que está conformada por un tanque de almacenamiento.

**Figura 13**

*Flujograma de unidades en operación para el tratamiento de agua del municipio de Apartadó*



*Nota.* Fuente: Manual de operación y mantenimiento de la planta Apartadó

El funcionamiento y operación de las unidades de tratamiento siempre deben realizarse en el orden antes visto, las dosificaciones y revoluciones son escogidas por el operador de turno quien basado en análisis de laboratorios como turbiedad, pH y color y a graves de ensayos de trazabilidad decide con ayuda de una guía la dosis correspondiente.

Luego del río Apartadó, la segunda hídrica primordial es el agua proveniente del pozo profundo Apartadó, el agua subterránea es utilizada como alternativa para aquellos casos de extrema medida en donde escasee el agua de la fuente principal o las turbiedades sean demasiado elevadas y no se pueda garantizar el caudal promedio; para esto el pozo debe operarse bajo las siguientes instrucciones:

- ✓ Dirigirse a la estación de bombeo
- ✓ Ubicar la pantalla de comandos y controladores del pozo

- ✓ En caso de que la operación sea manual se deberá: Presionar RUN, se debe modificar la frecuencia del caudal de salida con los botones F1 y F2 (min:45 Hz, Max: 60 Hz), Presionar ENTER y ESC para guardar y regresar al menú principal
- ✓ En caso de que la operación sea automática se deberá: Presionar STAR, Presionar el icono del candado , ingresar usuario y contraseña y ajustar los valores de frecuencia (min:45 Hz, Max: 60 Hz).
- ✓ Encender la bomba dosificadora de silicato enchufando al tomacorriente
- ✓ Verificar las dosis de aplicación en las llaves de aforo, y ajustar si es necesario
- ✓ En caso de que la turbiedad sea mayor a 50 UNT se habilita la oxidación de la siguiente forma: Se puede oxidar en bandejas de aireación en la cual inmediatamente se debe finalizar operación suspende la dosificación de silicato, u oxidar en el canal de agua clarificada y pasada una hora se debe finalizar operación suspende la dosificación de silicato
- ✓ En caso de que la turbiedad sea menor a 50 UNT se habilita la oxidación de la siguiente forma: Se debe oxidar a la salida de la cámara de aquietamiento y finalizar la operación suspendiendo la dosificación de silicato
- ✓ Seguidamente se apaga la bomba del pozo en la pantalla de los comandos antes mencionada
- ✓ Finalmente se debe suspender la oxidación como antes se mencionó para cada tipo de operación de oxidación.

### **3.2.2.2 Categorización de impactos ambientales**

Cambio climático, reducción de recursos hídricos, emisiones atmosféricas, aumento de desechos sólidos, eutrofización, acidificación.

### **3.2.2.3 Identificación de aspectos e impactos ambientales en el manejo de lodo**

Se analizaron las actividades necesarias para el acondicionamiento de lodos en la PPAP del municipio de Apartadó, y así mismo se estableció si la actividad es rutinaria o no, se identificó el aspecto ambiental y el impacto generado de este.

#### **3.2.2.4. Matriz de determinación de la calidad de agua**

Se realizó una tabla de resultados de IRCA de los meses Julio a Noviembre, en donde se identificó en porcentajes el nivel de riesgo del agua basado en la resolución 2115 de 2007. Se realizó detalladamente la matriz de determinación de la calidad del agua correspondiente a cada mes, se agregó a anexos debido a su extensión de datos.

#### **3.2.3. Estrategias de control ambiental**

Se propuso una estrategia de control ambiental para el tratamiento de deshidratación y disposición de lodos en el que se incluye el programa al que va dirigido, el proyecto a investigar, descripción del proyecto, los objetivos esperados, el alcance a nivel ambiental de este proyecto y las metas a 2025 si se implementa un tratamiento de lodos. (Valencia & Reyes, 2010)

**4 Análisis y resultados**

**4.1 DETERMINACIÓN DE LODOS**

**4.1.1 Análisis de prueba test de jarra**

**Tabla 1.**

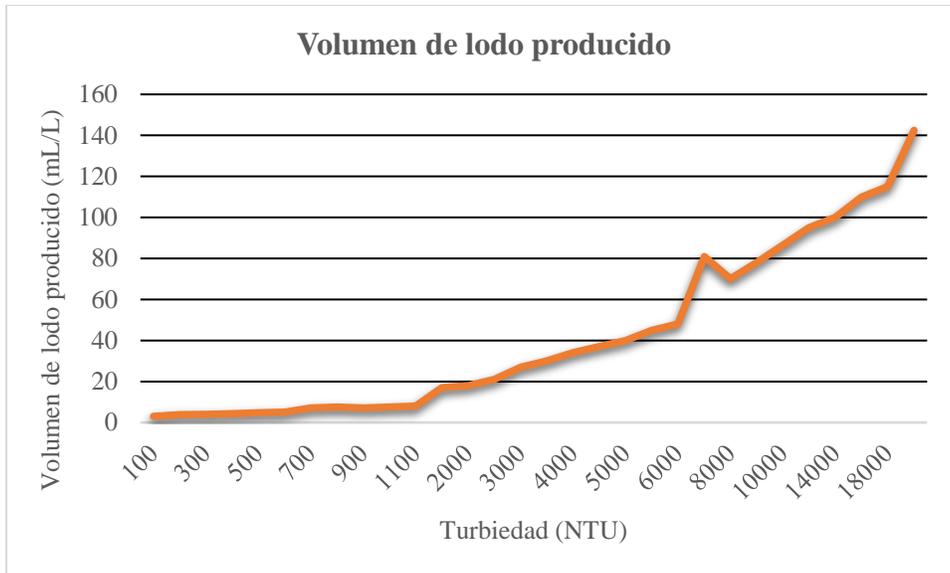
*Caracterización inicial de agua cruda*

CARACTERIZACIÓN INICIAL				
Turbiedad	pH	Color	Dosis coagulante (ppm)	Dosis polímero (ppm)
114	8,46	860	10	0,08
279	8,24	1841	12	0,10
313	8,12	1398	10	0,10
412	8,38	2500	10	0,10
547	8,28	2575	12	0,10
610	7,98	2627	12	0,10
715	8,31	2700	14	0,10
878	8,16	3819	14	0,10
986	8,68	4830	14	0,10
1020	7,86	5100	14	0,10
1215	8,38	8442	20	0,14
1653	8,26	9343	16	0,14
2088	8,21	9340	16	0,14
2600	8,34	13050	18	0,14
3377	8,84	15885	24	0,14
3920	8,14	18600	28	0,14
4215	8,23	19075	28	0,14
4665	8,47	20100	28	0,14
5280	8,56	24400	34	0,14
5731	8,15	26655	34	0,14
6633	8,10	28328	58	0,18
7540	7,96	34700	40	0,18
8860	8,15	35666	66	0,18
9254	8,42	46270	66	0,18
10600	8,17	57800	66	0,18
12130	8,32	54778	72	0,18

14500	8,05	54805	74	0,18
16340	8,15	54956	88	0,2
18356	8,36	55580	90	0,20
21300	8,19	63860	110	0,22

**Figura 14**

*Volumen de lodo producido*



Una vez realizado el análisis de test de jarra, tomados los datos de caracterización inicial (como se observa en la tabla 1) se evidencio que el agua del rio Apartadó varia en grandes rangos en características como turbiedad y color, los cuales oscilaron entre 100 y 22000 NTU para la primera, y 860 y 64000 NTU para la segunda. Por otra parte, se observó que el pH tuvo una variación menos significativa, manejando picos hasta 8,68 unidades de pH. Este tipo de agua al arrastrar altas turbiedades y unidades de color permiten que sea más eficaz la aplicación de dosis de químicos que permiten la potabilización del agua.

**4.1.2 Determinación del índice SVI**

**4.1.2.1 Sedimentación**

**Tabla 2**

*Sedimentación de lodos*

**GUIA DE REFERENCIA PARA PRODUCCIÓN DE LODOS**

**PPAP APARTADO**

CAUDAL (L/s)	TURBIEDAD (NTU)	VOLUMEN DE AGUA PRODUCIDO (mL/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN DE LODO SEDIMENTADO (mL/ m <sup>3</sup> )	% DE LODO
335	100-200	997	3	0,30%
336	200-300	996,25	3,75	0,38%
340	300-400	996	4	0,40%
350	400-500	995,75	4,25	0,43%
350	500-600	995,25	4,75	0,48%
350	600-700	995	5	0,50%
356	700-800	993	7	0,70%
351	800-900	992,5	7,5	0,75%
353	900-1000	993	7	0,70%
350	1000-1100	992,5	7,5	0,75%
353	1100-1500	992	8	0,80%
360	1500-2000	983	17	1,70%
345	2000-2500	982	18	1,80%
332	2500-3000	979	21	2,10%
322	3000-3500	973	27	2,70%
320	3500-4000	970	30	3,00%
321	4000-4500	966	34	3,40%
320	4500-5000	963	37	3,70%
318	5000-5500	960	40	4,00%
312	5500-6000	955	45	4,50%
310	6000-7000	952	48	4,80%
280	7000-8000	919	81	8,10%
275	8000-9000	930	70	7,00%
271	9000-10000	922	78	7,80%
280	10000-12000	913,5	86,5	8,65%
260	12000-14000	905	95	9,50%
250	14000-16000	900	100	10,00%
250	16000-18000	890	110	11,00%
242	18000-20000	885	115	11,50%
240	20000-25000	857,5	142,5	14,25%

Esta es sin duda la practica más importante del proceso, ya que demostró que es necesario implementar una alternativa de disposición de lodos de manera urgente. Se evidencio que los volúmenes de lodos sedimentados ascendieron a 142,5 mL/L a escala de laboratorio (Tabla 2), lo que representa a un volumen de  $2,96 \times 10^9$  mL/día en proceso escalado, cantidad exorbitante y llena de residuos que es devuelta al río.

**4.1.2.2. Determinación de sólidos suspendidos**

Una vez analizados los resultados de solidos suspendidos totales obtenidos se observaron valores superiores a los encontrados en estudios anteriores (tabla 5), los cuales fueron de 17920 (Montoya, 2016), aun así, no hay normatividad vigente que permita realizar comparaciones más profundas y determinar el grado de contaminación aportado por este subproducto a la principal fuente de abastecimiento.

**4.1.2.3. Cálculo del índice SVI**

**Tabla 3**

*Cálculo del índice de volumen de lodos (SVI)*

SVI		
VLF Asentados (mL/m <sup>3</sup> )	CSS (g/m <sup>3</sup> )	SVI (mL/g)
3	167,3	0,018
3,75	167,3	0,022
4	167,3	0,024
4,25	167,3	0,025
4,75	167,3	0,028
5	167,3	0,030
7	167,3	0,042
7,5	167,3	0,045
7	167,3	0,042
7,5	167,3	0,045
8	167,3	0,048
17	167,3	0,102
18	167,3	0,108
21	167,3	0,126
27	167,3	0,161
30	167,3	0,179

34	167,3	0,203
37	167,3	0,221
40	167,3	0,239
45	167,3	0,269
48	167,3	0,287
81	167,3	0,484
70	167,3	0,418
78	167,3	0,466
86,5	167,3	0,517
95	167,3	0,568
100	167,3	0,598
110	167,3	0,658
115	167,3	0,687
142,5	167,3	0,852

Según los resultados obtenidos en la tabla 3, los LF analizados cumplen con las condiciones ideales de sedimentación, ya que un SVI menor a 100 mL/g contempla límites adecuados para realizarles un tratamiento de sedimentación y espesamiento, procesos que facilitarían el tratamiento de dichos lodos.

**4.1.3. Espesamiento**

**Tabla 4**

*Espesamiento de lodos*

<b>Espesamiento</b>	
<b>Lodo en base húmeda (g/h)</b>	705,57
<b>Lodo en base seca (g/h)</b>	113,11

Se pudo evidenciar a partir de los resultados que porcentaje de lodo es directamente proporcional a la turbiedad recibida en la planta (tabla 2), se realizaron ensayos desde turbiedades de 100 hasta 25000 NTU. Se logró espesar el lodo de 705,57 g (Base húmeda) a 113,11 g (Base seca), como se muestra en la tabla 4, demostrando así que más del 80% de estos residuos está

constituido por agua y residuos químicos líquidos que pueden ser eliminados con la implementación de tratamientos de lodos.

#### 4.2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS LODOS

##### 4.2.1 Aspectos e impactos ambientales

**Tabla 5**

*Resultados de análisis de laboratorio Corpourabá*

Información y resultados del análisis			
Parámetro	Método analítico	Técnica	Valor
DBO5 [mg O <sub>2</sub> /L]	SM 5210 B, ASTM D888-18 e1 Método C	Incubación a 5 días y sensor luminiscencia	4,81
DQO [mg O <sub>2</sub> /L]	SM 5220 D	Reflujo cerrado, colorimétrico	<30,00
Sólidos suspendidos totales [mg/L]	SM 5220 D	Secado a 103-105 °C	167300
Aluminio [mg Al/L]	Digestión - SM 3111B	Digestión microondas HPR - EN-33- Llama óxido Nitroso -Acetileno	<0,01

Los valores de DBO5, DQO (tabla 5), no sobrepasan los valores encontrados en la literatura, los cuales fueron de 132mg/L O<sub>2</sub> y 877 mg/L O<sub>2</sub> respectivamente, estos no son comparables con ninguna normativa ya que en la actualizad no es existente. En cuanto al parámetro de Aluminio, la United Nations Environment Programe dice que este es toxico en los peces a niveles mayores a 0,5 mg/L Al, por tanto, basado en los resultados (tabla 5) este parámetro no afecta significativamente de manera negativa en la vida acuática. (Montoya, 2016)

**Tabla 6**

*Aspectos e impactos ambientales*

Proceso	Actividad	Rutinaria / No rutinaria	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Producción de agua /Acondicionamiento de lodos	Captación del agua cruda	Rutinaria	Consumo de agua	Agotamiento del recurso natural
	Aireación	No rutinaria	Generación de emisiones	Contaminación del aire
	Aquietamiento	Rutinaria	Consumo de energía eléctrica	Contaminación del aire y cambio climático por gases de efecto invernadero
	Pre-sedimentación	Rutinaria	Consumo de agua	Agotamiento del recurso natural
	Mezcla y aforo	Rutinaria	Generación de derrames	Contaminación del suelo
	Floculación	Rutinaria	Consumo de agua	Agotamiento del recurso natural
	Sedimentación	Rutinaria	Generación de vertimientos	Contaminación del agua
	Filtración	Rutinaria	Generación de residuos peligrosos	Daño a la calidad del ecosistema
Desinfección	Rutinaria	Generación de emisiones	Contaminación del aire, Cambio climático por gases efecto de invernadero, Deterioro de la capa de ozono y acidificación terrestre.	

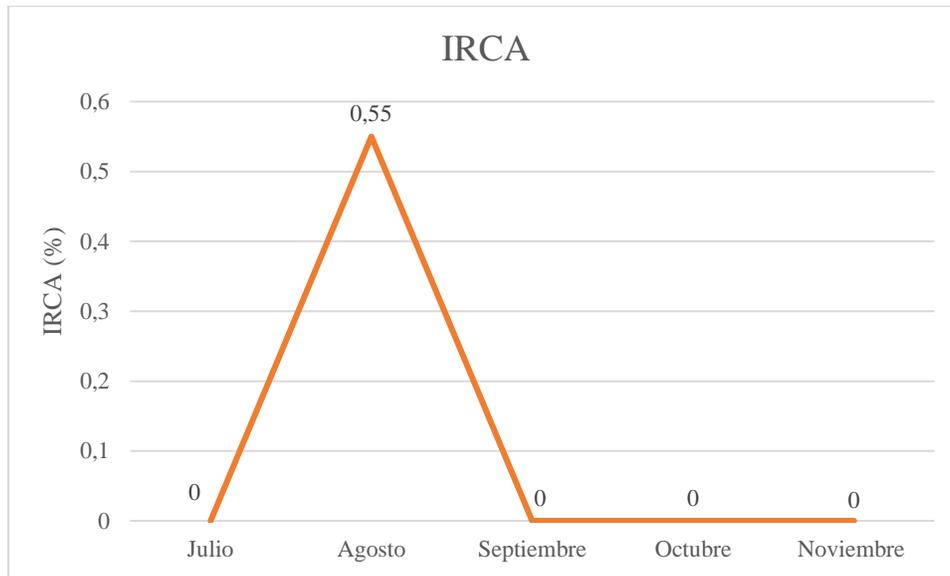
Una vez analizados los procesos de producción de agua y acondicionamiento de lodos del municipio de Apartadó (tabla 6) se observó que las actividades que intervienen en ambos procesos de manera rutinaria y no rutinaria aportan significativamente en las categorías: cambio climático, reducción de recursos hídricos, emisiones atmosféricas, aumento de desechos sólidos, eutrofización y acidificación; dentro de ellas se evidenciaron aspectos ambientales que aportaron un impacto ambiental negativo en el recurso suelo, aire, tierra, ya que aportaron impactos negativos como agotamiento del recurso natural, contaminación del aire, agua, suelo, entre otros.

**Tabla 7**  
*Índice de riesgo para la calidad del agua potable*

IRCA (%)	
Julio	0
Agosto	0,55

<b>Septiembre</b>	0
<b>Octubre</b>	0
<b>Noviembre</b>	0

**Figura 15**  
Porcentaje IRCA



Por otra parte, se evidencio a través del análisis del índice de riesgo para la calidad del agua potable (tabla 7) que el municipio de Apartadó cumple con el límite de porcentaje IRCA permitido (Ver anexo 1), ya que de los meses julio a noviembre se obtuvieron valores de 0%, a excepción del mes de agosto que se obtuvo un valor de 0,55% (figura 15), el cual es inferior al permitido según la resolución 2115 de 2007 (Ver anexo 2), y el cual se encuentra en un 5%.

**Tabla 8**  
Alternativa para el tratamiento y la reutilización de lodos

<b>Programa</b>	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO Y LA REUTILIZACIÓN DE LODOS
<b>Proyecto</b>	Construcción de una estructura de lechos de secado para la deshidratación del lodo proveniente de la PPAP Apartadó

<b>Descripción</b>	Se realizará la estructura de una unidad de lecho de secado al aire libre, dotada de zonas de fácil drenaje con el fin de evitar los vertimientos de lodos aluminosos en el río Apartadó y la disposición de estos para materiales de construcción
<b>Objetivos</b>	<p><b>General:</b> Deshidratar y disponer los lodos residuales del municipio de Apartadó</p> <p><b>Específicos:</b> -Diseñar e implementar estructuras de lecho de secado para la deshidratación de lodos</p> <p>-Formular e implementar una ruta de disposición para los lodos deshidratados</p>
<b>Alcance</b>	Este programa va dirigido al río Apartadó
<b>Metas</b>	La meta de este proyecto se realizará a mediano plazo, debido a que es un proyecto que necesita de un gran terreno para su realización. Se busca con este proyecto minimizar el impacto ambiental generado por vertimientos en el río Apartadó.

Finalmente se propuso como estrategia de control ambiental para el tratamiento de deshidratación y disposición de lodos (tabla 8), el programa de diseño y construcción de una estructura de lechos de secado, los cuales son estructuras que operan bajo el principio de extender el lodo sobre una superficie y dejarlo secar, el mayor porcentaje de agua es eliminado por procesos de decantación mientras el restante se evapora antes de alcanzar la concentración final deseada de sólidos. Esta estrategia permitirá reducir en gran dimensión el impacto ambiental aportado por la empresa a la cuenca del río Apartadó y generara un uso alternativo a los residuos de lodos aluminosos.

## 5 Conclusiones

- La simulación de los procesos pre-sedimentación, floculación y sedimentación permiten de manera adecuada realizar el escalamiento de planta, sin embargo, el nivel de incertidumbre que se genera puede ser muy significativo.
- El índice de volumen de lodos no supera 100 mL/g por lo que se considera los lodos fecales del municipio de Apartadó aptos y con condiciones ideales para el tratamiento en un tanque de sedimentación.
- La implementación de una estrategia de control ambiental reduciría notablemente el impacto ambiental negativo ocasionado a la cuenta del Río Apartadó, ya que se eliminaría por completo el vertimiento de estos residuos que afectan los recursos agua y tierra.
- Los lechos de secado demuestran ser la opción más viable de estrategia de control ambiental, ya que el costo inicial es bajo para plantas del tamaño como la del municipio de Apartadó, permite un bajo consumo eléctrico, un bajo consumo de químicos y un alto contenido de sólidos en la torta seca de lodos disminuyendo así la contaminación del río Apartadó. El diseño e implementación de estos puede estar basado en las cantidades de lodos producidos presentados anteriormente.
- La formulación e implementación de una ruta de disposición de lodos deshidratados aporta significativamente en la gestión ambiental de la empresa Aguas Regionales EPM, por lo que se debería tener en cuenta para procesos futuros.

## 6 Referencias

- Acuatecnica S.A.S (2017). Tratamiento de agua potable en Colombia. Tomado de: <https://acuatecnica.com/tratamiento-agua-potablecolombia/#:~:text=El%20tratamiento%20de%20agua%20potable,calidad%20requeridos%20y%20pueda%20distribuirse.>
- Acuatecnica S.A.S. (2018). Características de las plantas de tratamiento de agua potable convencionales. Tomado de: <https://acuatecnica.com/caracteristicas-lasplantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/#:~:text=Una%20planta%20de%20tratamiento%20de,requieren%20para%20poder%20ser%20consumida.>
- Aguas Regionales S.A E.S.P. (2015) Manual de operación y mantenimiento de la planta Apartadó.” Área Operación y Mantenimiento, Apartadó Antioquia
- BBVA. (2021). ¿Qué es el proceso de potabilización del agua y cuáles son sus fases? Tomado de: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-proceso-depotabilizacion-del-agua-y-cuales-son-sus-fases/>
- Aguas Regionales EPM S.A. E.S.P. (2022). Reporte de indicadores de calidad del agua. Tomado de: <https://www.grupo-epm.com/site/aguasregionales/Nuestra-gesti%C3%B3n/Indicadores-de-calidad-del-agua>
- Dodane, P. & Bassan M. (2014) Tanques de Sedimentación y Espesamiento. En: STRANDE, L., RONTELTAP, M. Y BRDJANOVIC, D. (Editores): Manejo de lodos fecales. Un enfoque sistémico para su implementación y operación. Disponible en [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/FSM\\_Libro\\_low\\_res/manejo\\_fsm\\_cap6\\_120ppi.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/EWM/FSM_Libro_low_res/manejo_fsm_cap6_120ppi.pdf)
- Función Pública (2022). Decreto 1594 de 1984. Tomado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?I=18617>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2021). Colombia potencia en agua: El 93% de los colombianos ya cuentan con acceso a este servicio. Tomado de: <https://www.minvivienda.gov.co/sala-de-prensa/colombia-potencia-en-agua-el93-de-los-colombianos-ya-cuentan-con-acceso-esteservicio#:~:text=%E2%80%9cel%2093%25%20de%20los%20colombianos,de%2045.5%20millones%20de%20personas.>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia (2020) Resolución 2115 de 2007. Tomado de: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007#:~:text=Por%20medio%20de%20la%20cual,del%20agua%20para%20consumo%20humano.>
- Mogollón, S. & Carrillo, C. (2016) Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la PTAR de la compañía internacional de alimentos agropecuarios (Cialta S.A.S) como alternativa de aprovechamiento para producción de ladrillos cerámicos. Tomado de:

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?Article=1184&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?Article=1184&context=ing_ambiental_sanitaria).

Montoya, N. (2016) Alternativas de disposición de lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Apartadó.

Raigosa, M. (2012). Evaluación de alternativas para el manejo de lodos provenientes De las plantas de potabilización de agua de los municipios del Departamento de Risaralda mediante el análisis costo-beneficio. Tomado de:

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/3fac6506-b92e-4d2e-89cc1f0efe5c22df/content>

Valencia, A. & Reyes, E. (2010) Evaluación del impacto ambiental asociado a los sistemas de agua potable y saneamiento básico sobre los recursos suelo, aire y agua en los municipios de Chocontá y la Calera, pertenecientes a la cuenca alta del río Bogotá Tomado de:

[https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?Article=1435&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?Article=1435&context=ing_ambiental_sanitaria).

7 Anexos

Anexo 1. IRCA junio

 						
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 0 auto; width: 80%;"> <p><b>AGUAS REGIONALES EPM S.A.E.S.P</b>  <b>Calle 97 A No.104-13 Barrio el Humedal 8286655</b></p> <p><b>CALIDAD DEL AGUA POTABLE SUMINISTRADA</b></p> <p><b>MUNICIPIO APARTADÓ</b></p> </div>						
<p>Agua de Red de Distribución. Valores de referencia según Decreto 1575, resolución 2115 de 2007                  IRCA Máximo permisible 5,00                  IRCA: <u>0,30</u> Nivel de Riesgo por IRCA: Sin riesgo</p>						
<p><b>Muestreo:</b></p>						
		Desde:	1/06/2022	Hasta:	30/06/2022	
	Unidades	Número de muestras	Máximo	Minimo	Promedio	Valor de referencia
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>						
Alcalinidad, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	156,37	98,24	124,25	Máx. 200
Cloro residual, Cl <sub>2</sub>	mg/L	90	1,9	0,3	1,30	0.3 a 2.0
Cloruros, Cl <sup>-</sup>	mg/L	8	18,14	9,4	14,54	Máx. 250
Color	UC	60	12,73	3	3,42	Máx. 15
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	164,8	44,89	104,16	Máx. 300
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	2,22	0,98	1,66	Máx.10
Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	0,01	0,01	0,01	Máx. 0.1
Sulfatos, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	43	18	30,13	Máx.250
Turbiedad	UNT	60	1,06	0,2	0,46	Máx. 2
pH	Unidades pH	60	8,7	7,5	8,25	6.5 a 9.0
<b>ANÁLISIS METALES</b>						
Aluminio, Al	mg/L	8	0,04	0,04	0,04	Máx. 0.2
Hierro total, Fe	mg/L	8	0,2	0,08	0,1	Máx. 0.3
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</b>						
		<b>Contaminadas</b>			<b>Valor de referencia</b>	
Coliformes totales	mic-org/100mL	90	1		0 mic-org/100mL	
Escherichia coli	mic-org/100mL	90	0		0 mic-org/100mL	
<p><b>Notas:</b>                  El presente documento de calidad del agua hace referencia a las muestras analizadas en las fechas indicadas                  Los parámetros cloro residual y pH fueron medidos en campo por el contratista</p>						

Anexo 2. IRCA julio

 						
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p><b>AGUAS REGIONALES EPM S.A.E.S.P</b>  <b>Calle 97 A No.104-13 Barrio el Humedal 8286655</b></p> <p><b>CALIDAD DEL AGUA POTABLE SUMINISTRADA</b></p> <p><b>MUNICIPIO SANTA FE DE ANTIOQUIA</b></p> </div>						
<p>Agua de Red de Distribución. Valores de referencia según Decreto 1575, resolución 2115 de 2007                  IRCA Máximo permisible 5,00                  IRCA: <u>0</u> Nivel de Riesgo por IRCA: Sin riesgo</p>						
<p><b>Muestreo:</b></p>						
		Desde:	1/07/2022	Hasta:	31/07/2022	
	<b>Unidades</b>	<b>Número de muestras</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Promedio</b>	<b>Valor de referencia</b>
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>						
Alcalinidad, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2	94,3	41,9	68,1	Máx. 200
Cloro residual, Cl <sub>2</sub>	mg/L	32	1,5	0,8	1,2	0.3 a 2.0
Cloruros, Cl <sup>-</sup>	mg/L	2	10	6,1	8,1	Máx. 250
Color	UC	32	10	2	3,0	Máx. 15
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	2	103,6	37,7	70,7	Máx. 300
Turbiedad	UNT	32	0,95	0,1	0,3	Máx. 2
pH	Unidades pH	32	8,2	7,1	7,5	6.5 a 9.0
<b>ANÁLISIS METALES</b>						
Hierro total, Fe	mg/L	2	0,06	0,06	0,06	Máx. 0.3
Aluminio, Al	mg/L	2	0,065	0,065	0,065	Máx. 0.2
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</b>						
			<b>Contaminadas</b>	<b>Valor de referencia</b>		
Coliformes totales	mic-org/100mL	31	0		0 mic-org/100mL	
Escherichia coli	mic-org/100mL	31	0		0 mic-org/100mL	
<p><b>Notas:</b>                  El presente documento de calidad del agua hace referencia a las muestras analizadas en las fechas indicadas                  Los parámetros cloro residual y pH fueron medidos en campo por el contratista</p>						

Anexo 3. IRCA agosto

 						
<p><b>AGUAS REGIONALES EPM S.A.E.S.P</b>  <b>Calle 97 A No.104-13 Barrio el Humedal 8286655</b></p> <p><b>CALIDAD DEL AGUA POTABLE SUMINISTRADA</b></p> <p><b>MUNICIPIO APARTADÓ</b></p>						
<p>Agua de Red de Distribución. Valores de referencia según Decreto 1575, resolución 2115 de 2007                  IRCA Máximo permisible 5,00                  IRCA: <u>0,56</u> Nivel de Riesgo por IRCA: Sin riesgo</p>						
<p><b>Muestreo:</b></p> <p>Desde: <u>1/08/2022</u> Hasta: <u>31/08/2022</u></p>						
	Unidades	Número de muestras	Máximo	Mínimo	Promedio	Valor de referencia
<b>ANÁLISIS FISIQUÍMICOS</b>						
Alcalinidad, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	145,8	115,52	130,56	Máx. 200
Cloro residual, Cl <sub>2</sub>	mg/L	93	1,9	0,4	1,18	0.3 a 2.0
Cloruros, Cl <sup>-</sup>	mg/L	8	20,26	3,71	11,77	Máx. 250
Color	UC	60	14,31	3	4,56	Máx. 15
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	146,58	106,11	128,40	Máx. 300
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	2,22	1,01	1,57	Máx.10
Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	0,009	0,009	0,01	Máx. 0.1
Sulfatos, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	39	18	32,38	Máx.250
Turbiedad	UNT	61	1,4	0,2	0,57	Máx. 2
pH	Unidades pH	61	8,6	7,2	8,18	6.5 a 9.0
<b>ANÁLISIS METALES</b>						
Aluminio, Al	mg/L	8	0,08	0,05	0,056	Máx. 0.2
Hierro total, Fe	mg/L	9	0,3	0,08	0,107	Máx. 0.3
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</b>						
			<b>Contaminadas</b>		<b>Valor de referencia</b>	
Coliformes totales	mic-org/100mL	92	1		0 mic-org/100mL	
Escherichia coli	mic-org/100mL	92	1		0 mic-org/100mL	
<p><b>Notas:</b>                  El presente documento de calidad del agua hace referencia a las muestras analizadas en las fechas indicadas                  Los parámetros cloro residual y pH fueron medidos en campo por el contratista</p>						

Anexo 4. IRCA septiembre

 						
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p><b>AGUAS REGIONALES EPM S.A.E.S.P</b>  <b>Calle 97 A No.104-13 Barrio el Humedal 8286655</b></p> <p><b>CALIDAD DEL AGUA POTABLE SUMINISTRADA</b></p> <p><b>MUNICIPIO APARTADÓ</b></p> </div>						
<p>Agua de Red de Distribución. Valores de referencia según Decreto 1575, resolución 2115 de 2007                  IRCA Máximo permisible 5,00                  IRCA: 0 Nivel de Riesgo por IRCA: Sin riesgo</p>						
<p><b>Muestreo:</b></p>						
		Desde:	1/09/2022	Hasta:	30/09/2022	
	Unidades	Número de muestras	Máximo	Mínimo	Promedio	Valor de referencia
<b>ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS</b>						
Alcalinidad, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	184,93	119,90	134,27	Máx. 200
Cloro residual, Cl <sub>2</sub>	mg/L	92	1,8	0,30	1,27	0.3 a 2.0
Cloruros, Cl <sup>-</sup>	mg/L	8	23,55	7,12	13,53	Máx. 250
Color	UC	62	14,34	3,00	3,63	Máx. 15
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	142,89	102,49	117,42	Máx. 300
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	3,1	1,77	2,03	Máx.10
Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	0,023	0,0009	0,01	Máx. 0.1
Sulfatos, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	38	18,00	29,00	Máx.250
Turbiedad	UNT	63	1,53	0,20	0,49	Máx. 2
pH	Unidades pH	63	8,3	6,99	7,62	6.5 a 9.0
COT	mg/L	1	1,8	1,80	1,80	Máx. 5
<b>ANÁLISIS METALES</b>						
Aluminio, Al	mg/L	8	0,05	0,05	0,05	Máx. 0.2
Hierro total, Fe	mg/L	7	0,2	0,08	0,10	Máx. 0.3
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</b>						
			<b>Contaminadas</b>		<b>Valor de referencia</b>	
Coliformes totales	mic-org/100mL	90	0		0 mic-org/100mL	
Escherichia coli	mic-org/100mL	90	0		0 mic-org/100mL	
<p><b>Notas:</b>                  El presente documento de calidad del agua hace referencia a las muestras analizadas en las fechas indicadas                  Los parámetros cloro residual y pH fueron medidos en campo por el contratista</p>						

Anexo 5. IRCA octubre

 						
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p><b>AGUAS REGIONALES EPM S.A.E.S.P</b>  <b>Calle 97 A No.104-13 Barrio el Humedal 8286655</b></p> <p><b>CALIDAD DEL AGUA POTABLE SUMINISTRADA</b></p> <p><b>MUNICIPIO APARTADÓ</b></p> </div>						
<p>Agua de Red de Distribución. Valores de referencia según Decreto 1575, resolución 2115 de 2007                  IRCA Máximo permisible 5,00                  IRCA: <u>0</u> Nivel de Riesgo por IRCA: Sin riesgo</p>						
<p><b>Muestreo:</b></p>						
		Desde:	1/10/2022	Hasta:	31/10/2022	
	Unidades	Número de muestras	Máximo	Mínimo	Promedio	Valor de referencia
<b>ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS</b>						
Alcalinidad, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	157,52	99,5	133,83	Máx. 200
Cloro residual, Cl <sub>2</sub>	mg/L	94	1,9	0,4	1,24	0.3 a 2.0
Cloruros, Cl <sup>-</sup>	mg/L	8	11,76	6,41	9,86	Máx. 250
Color	UC	65	5,61	0,19	3,10	Máx. 15
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	141,52	72,93	118,97	Máx. 300
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	1,8163	1,329	1,50	Máx.10
Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	0,00984	0,00984	0,01	Máx. 0.1
Sulfatos, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	151	18	48,63	Máx.250
Turbiedad	UNT	65	1,37	0,02	0,42	Máx. 2
pH	Unidades pH	78	8,7	7,3	8,20	6.5 a 9.0
<b>ANÁLISIS METALES</b>						
Aluminio, Al	mg/L	8	0,12	0,05	0,075625	Máx. 0.2
Hierro total, Fe	mg/L	8	0,27	0,08	0,11875	Máx. 0.3
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</b>						
			<b>Contaminadas</b>		<b>Valor de referencia</b>	
Coliformes totales	mic-org/100mL	94	0		0 mic-org/100mL	
Escherichia coli	mic-org/100mL	94	0		0 mic-org/100mL	
<p><b>Notas:</b>                  El presente documento de calidad del agua hace referencia a las muestras analizadas en las fechas indicadas                  Los parámetros cloro residual y pH fueron medidos en campo por el contratista</p>						

Anexo 6. IRCA noviembre

 							
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><b>AGUAS REGIONALES EPM S.A.E.S.P</b>  <b>Calle 97 A No.104-13 Barrio el Humedal 8286655</b></p> <p><b>CALIDAD DEL AGUA POTABLE SUMINISTRADA</b></p> <p><b>MUNICIPIO APARTADÓ</b></p> </div>							
<p>Agua de Red de Distribución. Valores de referencia según Decreto 1575, resolución 2115 de 2007                  IRCA Máximo permisible 5,00                  IRCA: <u>0</u> Nivel de Riesgo por IRCA: Sin riesgo</p>							
<p><b>Muestreo:</b></p>							
		Desde:	1/11/2022	Hasta:	30/11/2022		
	Unidades	Número de muestras	Máximo	Mínimo	Promedio	Valor de referencia	
<b>ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS</b>							
Alcalinidad, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	157,21	107,3	130,74	Máx. 200	
Cloro residual, Cl <sub>2</sub>	mg/L	90	1,8	0,4	1,17	0.3 a 2.0	
Cloruros, Cl <sup>-</sup>	mg/L	8	14,43	6,85	11,63	Máx. 250	
Color	UC	60	11,48	3	3,53	Máx. 15	
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	8	280	111	147,66	Máx. 300	
Nitratos, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	4,43	1,32	1,95	Máx.10	
Nitritos, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	0,0114	0,0098	0,01	Máx. 0.1	
Sulfatos, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	8	44	14	27,63	Máx.250	
Turbiedad	UNT	60	1,09	0,15	0,45	Máx. 2	
pH	Unidades pH	60	8,71	8,02	8,49	6.5 a 9.0	
<b>ANÁLISIS METALES</b>							
Aluminio, Al	mg/L	8	0,071	0,05	0,05	Máx. 0.2	
Hierro total, Fe	mg/L	8	0,2	0,08	0,095	Máx. 0.3	
<b>ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS</b>							
		<b>Contaminadas</b>			<b>Valor de referencia</b>		
Coliformes totales	mic-org/100mL	90	0			0 mic-org/100mL	
Escherichia coli	mic-org/100mL	90	0			0 mic-org/100mL	
<p><b>Notas:</b>                  El presente documento de calidad del agua hace referencia a las muestras analizadas en las fechas indicadas                  Los parámetros cloro residual y pH fueron medidos en campo por el contratista</p>							