



**Viabilidad Económica, Técnica y Ambiental del Reúso de Aguas de los Autoclaves de la  
Institución Inversiones Médicas de Antioquia S.A.**

Frank Danilo Gómez Quintana

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesora

Yesica María Gómez Jaramillo, estudiante Magíster (MSc) en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Ambiental  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2021

---

Cita

(Gómez Quintana, 2021)

---

**Referencia**

Gómez Quintana, F. D. (2021). *Evaluación de la Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental del Reúso de Las Aguas de Enfriamiento de los Autoclaves de la Institución Inversiones Médicas de Antioquia S.A.* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)

---



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

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.

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| <b>Resumen</b> .....   | 6  |
| <b>1. Introducción</b> .....   | 7  |
| <b>2. Objetivos</b> .....  | 7  |
| <b>Objetivo general</b> .....  | 7  |
| <b>Objetivos específicos</b> .....   | 7  |
| <b>3. Marco teórico</b> .....  | 8  |
| <b>4. Metodología</b> .....  | 11 |
| 4.1    Caracterización del proceso de esterilización .....                 | 11 |
| 4.1.1    Caracterización del efluente .....                                | 12 |
| 4.2    Identificación de usos potenciales .....                            | 13 |
| 4.3    Determinación de la viabilidad económica, técnica y ambiental ..... | 13 |
| <b>5. Resultados y análisis</b> .....                                      | 15 |
| 5.1    Usos potenciales .....  | 17 |
| 5.2    Viabilidad económica .....  | 17 |
| 5.2.1    Escenario 1 .....   | 18 |
| 5.2.2    Escenario 2 .....   | 19 |
| 5.3    Viabilidad técnica .....  | 19 |
| 5.4    Viabilidad ambiental .....  | 22 |
| <b>6. Recomendaciones</b> .....  | 23 |
| <b>7. Conclusiones</b> .....   | 24 |
| <b>8. Referencias Bibliográficas</b> .....                                 | 25 |

## Lista de tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Parametros fisicoquímicos solicitados en el análisis de las aguas del autoclave número tres ..... | 13 |
| <b>Tabla 2</b> Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua.....                              | 15 |
| <b>Tabla 3</b> Usos potenciales contemplados en la resolución 1207 de 2014 adaptados a la institución .....      | 17 |
| <b>Tabla 4</b> Cantidad y costo del agua consumida en la institución primer semestre del año 2021 ...            | 18 |
| <b>Tabla 5</b> Análisis de costos aproximados para el escenario 1 .....  | 18 |
| <b>Tabla 6</b> Análisis de costos aproximados para el escenario 2 .....  | 19 |
| <b>Tabla 7</b> Valores aceptables de los parametros para recirculación del agua en el autoclave .....            | 23 |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> Etapas del proceso de esterilización .....  | 11 |
| <b>Figura 2</b> Lugar de toma de la muestra.....  | 12 |
| <b>Figura 3</b> Espacio sugerido para la instalación de los tanques de almacenamiento de las aguas de reúso ..... | 20 |
| <b>Figura 4</b> Forma sugerida de los tanques de almacenamiento de las aguas de reúso .....                       | 20 |
| <b>Figura 5</b> Tuberías de cobre por las que baja el agua desde el sexto piso hacia el drenaje.....              | 21 |

## **Resumen**

El reúso de aguas en Colombia se encuentra ampliamente regulado, no obstante, no ha tenido un gran impacto, esto se debe en parte a la falta de su socialización y la poca claridad que se tiene con respecto a su implementación. En el sector hospitalario se realizan actividades de reúso de los efluentes líquidos de algunos procesos, principalmente de las lavanderías. Por otro lado, el reúso de las aguas de enfriamiento de los equipos de esterilización es poco común. Sumado a esto, los procesos llevados a cabo por algunas instituciones no se encuentran documentados y existe poca información al respecto. Se evaluó la viabilidad económica, técnica y ambiental del reúso de las aguas provenientes de los autoclaves de la central de esterilización de la institución Inversiones Médicas de Antioquia S.A. Para lograr este objetivo, se caracterizó el proceso llevado a cabo en la central de esterilización y se realizó un análisis microbiológico y fisicoquímico de los efluentes líquidos provenientes del autoclave número tres. Finalmente se elaboró un análisis de la viabilidad económica, técnica y ambiental donde se proponen diferentes alternativas del reúso de las aguas de los autoclaves y las acciones que deben implementarse para llevar a cabo el mismo.

*Palabras clave:* reúso, autoclave, agua, estrés hídrico.

## **1. Introducción**

El consumo de agua es un aspecto ambiental de gran relevancia en el sector hospitalario. Como producto de su operación, el recurso hídrico se utiliza en múltiples actividades como la preparación de alimentos para el personal de la institución y los pacientes, las baterías sanitarias de las habitaciones, el público general y del personal institucional, las duchas, lavamanos y los denominados cuartos de trabajo sucio, el aseo y limpieza de las instalaciones y los equipos médicos, el agua consumida en los procesos de esterilización, en las actividades de mantenimiento y en los laboratorios, entre otras (Centro Nacional de Producción más Limpia, 1999).

Si bien es cierto que nuestro país cuenta con una oferta hídrica considerable, fenómenos como el cambio climático y el crecimiento de la población incrementan la demanda del recurso hídrico lo que a su vez aumenta la presión sobre las fuentes de agua afectando la disponibilidad y distribución del recurso (Banco Mundial, 2020). El reúso del recurso hídrico contribuye a disminuir la demanda de agua en diversos sectores e impulsar la sostenibilidad mediante su ahorro (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Este es el caso de la Institución Inversiones Médicas de Antioquia S.A que, en el marco de su política ambiental alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), busca implementar estrategias para disminuir su impacto en el medio ambiente. Por esta razón, se determina la viabilidad económica, técnica y ambiental del reúso de aguas generadas en el proceso de esterilización de los autoclaves en la institución. Adicionalmente, con el presente proyecto se espera contribuir al desarrollo de posteriores investigaciones que generen alternativas de reúso del recurso hídrico en los centros hospitalarios.

## **2. Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar la viabilidad económica, técnica y ambiental del reúso de las aguas de enfriamiento provenientes del proceso de esterilización de los autoclaves de la Institución Inversiones Médicas de Antioquia S.A.

### **Objetivos específicos**

Caracterizar el proceso de esterilización y las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de los efluentes líquidos.

Identificar los usos potenciales de los efluentes líquidos provenientes del proceso de esterilización.

Determinar la viabilidad de algunos de los usos potenciales identificados.

### 3. Marco teórico

El agua es un compuesto que determina un sinnúmero de procesos físicos, químicos y biológicos en nuestro planeta, es el componente más abundante en los medios orgánicos y es un recurso crucial para la humanidad y el resto de los seres vivos (Paredes, 2013). La ubicación geográfica de Colombia en conjunto con la topografía y el régimen climático, permiten que presente una oferta hídrica considerable (García & Sánchez, 2001) la cual es aprovechada en la producción de energía, sistemas de regadío, abastecimiento, uso industrial, recreativo, entre otras actividades que implican realizar un uso adecuado del recurso.

A nivel mundial el uso eficiente del agua ha adquirido una importante relevancia, en septiembre de 2015 la Organización de las Naciones Unidas (ONU), en conjunto con los líderes mundiales, adoptaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). De estos, el objetivo seis pretende “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” y establece para 2030 “aumentar sustancialmente la eficiencia en el consumo de agua para todos los sectores, lograr una extracción y abastecimiento sostenible del agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir sustancialmente el número de personas que la padecen” (ONU, 2015).

Colombia no es ajena a esta política ya que cuenta con un conjunto de normas referentes a la protección y preservación del recurso hídrico que se han fortalecido en el transcurso del tiempo. En el año 2010, se expidió la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, donde se establece como uno de sus principios el “ahorro y uso eficiente del agua”. Asimismo, se planteó como estrategia “la incorporación de la gestión integral del recurso hídrico en los sectores productivos usuarios del agua” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Sin embargo, a pesar de las estrategias implementadas en materia de conservación del recurso hídrico, en el país actualmente se presenta una alta presión sobre los cuerpos de agua, lo que hace que promover el uso eficiente y ahorro del recurso hídrico sea fundamental para optimizar la demanda y contribuir a la sostenibilidad del agua. De acuerdo con el artículo 2.2.3.2.1.1.2 del Decreto 1090 se denomina Uso Eficiente y Ahorro de Agua (UEAA) a:

toda acción que minimice el consumo reduzca el desperdicio u optimice la cantidad de agua a usar en un proyecto obra o actividad, mediante la implementación de prácticas como el reúso, la recirculación, el uso de aguas lluvias el control de pérdidas, la reconversión de tecnologías o cualquier otra práctica orientada al uso sostenible del agua. (Ministerio de Medio Ambiente, 2018)

No obstante, la implementación del UEAA es bajo a pesar de los esfuerzos que se han realizado para promoverlo. De acuerdo con la Encuesta Ambiental Industrial (EAI) realizada en 2016, se tiene que solo entre el 18,1% y el 47,5% de establecimientos industriales reportan tener un programa de ahorro y uso eficiente del agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Del mismo modo, solo el 17% de las autoridades ambientales consultadas en el año 2016 por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible reportaron información asociada al



reúso de aguas residuales en su jurisdicción. Este bajo porcentaje obedece a factores como la limitación de los usos del agua, la poca claridad acerca de los procedimientos que deben realizarse para la implementación del reúso, así como los elevados costos de la caracterización de las aguas y la alta rigurosidad de los parámetros de calidad exigidos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Asimismo, se indica que el desconocimiento de la norma, sumado a la falta de socialización de esta, la poca claridad conceptual de algunos términos, la falta de investigación dirigida al reúso de las aguas residuales y las restricciones y descontextualización de los criterios de calidad restringen las posibilidades de implementación de esta. Aunque los antecedentes de la actividad de reúso en Colombia se remontan a la ley 373 de 1997 y el Decreto 3930 de 2010, actualmente este se encuentra regulado por la resolución 1207 de 2014 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Sin embargo, debido a que desde su expedición han surgido diversos reparos, el Ministerio de Medio Ambiente se encuentra realizando un ajuste normativo a dicha resolución que permita el desarrollo y fortalecimiento de programas de reúso (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Por otra parte, el reúso es una actividad que permite enfrentar los crecientes problemas de escasez del recurso hídrico y crecimiento de la población en el mundo, por tal razón la implementación de proyectos de aprovechamiento de los efluentes líquidos puede constituirse como una estrategia de sostenibilidad que contribuya no solo a proveer un suministro alternativo del recurso hídrico sino que también permita disminuir la presión sobre las fuentes hídricas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

En el caso del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se presenta una oferta hídrica baja que no satisface la demanda actual para el consumo que se presenta en el territorio, debido a esto es necesario el trasvase de aguas de cuencas vecinas lo que generando una dependencia hídrica para satisfacer las necesidades de agua potable en el territorio (Corantioquia, 2016). El aumento de la frontera agrícola y el deterioro de áreas estratégicas de cobertura en las cuencas del trasvase amenazan en el largo plazo el suministro del recurso hídrico (Corantioquia, 2015), este riesgo ocasionado por factores naturales y antrópicos se denomina en la literatura como estrés hídrico.

El estrés hídrico se presenta cuando no es posible suplir la demanda de agua en un territorio determinado ya sea por la disponibilidad del recurso o la baja calidad de este, esta situación deteriora la calidad de vida en la región donde se presenta, además de afectar el desarrollo de las actividades industriales, económicas y agrícolas (Beltrán, 2014).

El reúso de los efluentes líquidos que cumplan con los criterios de calidad establecidos en la normatividad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) se presenta como una alternativa para reducir el consumo, contribuir a la protección del recurso y prepararse para el problema creciente de la escasez de este. Este recurso hídrico puede ser destinado para otros usos, permitiendo establecer una economía circular del agua en la cual se pueda poner en práctica la gestión integral del recurso hídrico mejorando su eficiencia y las condiciones sociales, ambientales y económicas en las regiones donde se presentan dificultades para acceder al mismo (Banco Mundial, 2020).

Los procesos de reúso y aprovechamiento de efluentes líquidos en los centros hospitalarios se centran en el aprovechamiento de las aguas de las descargas de las lavanderías y las aguas lluvias, como sucede en el hospital San Vicente Fundación en Rionegro (Centros especializados de San Vicente Fundación, 2014), debido a la facilidad para recolectar el efluente. Ahora bien, el proceso de captación y reúso de las aguas provenientes de los procesos de esterilización mediante los autoclaves de vapor es poco común y no se encuentra ampliamente documentado. Estos sistemas son los más utilizados en la industria de centrales de esterilización hospitalarias ya que permiten la higienización de materiales que soportan temperaturas que oscilan entre los 121°C y los 134°C, se usan para esterilizar material quirúrgico, textiles, materiales de vidrio, cerámica, medios de cultivo, prótesis, implantes, entre otros (Tapias & Uribe, 2017).

La esterilización es el proceso mediante el cual se alcanza la muerte de todas las formas de vida microbianas, incluyendo bacterias y sus formas esporuladas altamente resistentes, hongos y sus esporas, y virus. Se considera que un material es estéril cuando la probabilidad de supervivencia de un organismo en el mismo es inferior a  $10^{-6}$ . El proceso de esterilización ocurre por medio de un recipiente metálico, hermético y de paredes gruesas que permite trabajar con vapor a alta presión y temperatura. Este proceso físico se basa fundamentalmente en la coagulación de estructuras proteicas en los microorganismos y para su funcionamiento utiliza de acuerdo con su capacidad entre 25 y 400 litros de agua durante cada ciclo, los cuales pueden repetirse hasta 17 veces al día lo que implica un consumo considerable de agua (Acosta & De Andrade, 2008). El proceso de esterilización por medio de vapor a alta presión y temperatura es uno de los métodos más comunes y eficaces que se emplean en los centros hospitalarios, también es conocido como método de calor húmedo o esterilización por vapor y el equipo en el que se lleva a cabo este proceso se denomina autoclave. La eficiencia de la esterilización mediante este sistema está relacionada con la eficacia con la que el aire es removido de la cámara hermética, asimismo, el vapor utilizado en el proceso debe ser limpio, este debe ser formado a partir de agua limpia, es decir, agua filtrada (agua osmotizada) y libre de sustancias contaminantes como cadmio, magnesio, plomo, o cloro entre otras, este proceso evita que el material quirúrgico sufra corrosión (Serra, 2013).

Además, el vapor debe ser puro, esto quiere decir que la presencia de agua en forma líquida debe ser baja, se considera que esto ocurre cuando el porcentaje es menor al 3%. Para que el proceso de esterilización ocurra de forma efectiva el vapor debe estar en contacto con el material que se pretende esterilizar, debido a esto los paquetes quirúrgicos deben cargarse y acomodarse al interior del equipo de forma separada para que el vapor pueda pasar a través de ellos y se lleve a cabo el proceso de esterilización.

## 4. Metodología

### 4.1 Caracterización del proceso de esterilización

Se programó un encuentro virtual con el área de ingeniería y mantenimiento de la institución que contó con la presencia de los ingenieros de la empresa proveedora de los equipos de esterilización (autoclaves). En este encuentro se indagó por las temperaturas de los efluentes de los equipos, volúmenes de agua utilizados por los equipos, así como el porcentaje del volumen susceptible de aprovechamiento; cabe resaltar que se indicó que las aguas susceptibles de aprovechamiento son las denominadas aguas de enfriamiento, las cuales representan un 80% del volumen de agua consumido por el equipo.

Se realizó un recorrido por la central de esterilización, se conoció el proceso y la logística requerida para la recepción, lavado, revisión, esterilización, almacenamiento y posterior entrega del material esterilizado así como los aspectos técnicos del equipo, cantidad de ciclos realizados al día, volumen y adecuada distribución del material a esterilizar en la cámara del autoclave y los criterios de calidad del agua consumida por los equipos de esterilización, en la Figura 1 pueden observarse imágenes de los procesos descritos.

#### Figura 1

*Etapas del proceso de esterilización*



*Nota: En el mosaico de imágenes se observa de izquierda a derecha el test de Bowie & Dick realizado para comprobar la penetración del vapor en los paquetes quirúrgicos previo a iniciar los procesos de esterilización, el área de lavado donde se remueve materia orgánica del material recibido del área de cirugía mediante el uso de detergentes enzimáticos*

*(Área sucia), la zona revisión del instrumental posterior a su lavado y limpieza, el material envuelto con su respectivo indicador químico de vapor listo para iniciar proceso de esterilización (Área limpia) y finalmente el instrumental esterilizado listo para ser enviado al área de quirófanos para ser usado (Área estéril).*

#### **4.1.1 Caracterización del efluente**

Se identificó el sitio de descarga de los efluentes líquidos de los equipos de esterilización (autoclaves). La muestra se tomó en el autoclave número tres debido a la facilidad para acceder al sitio y a que tanto las aguas de enfriamiento como de vacío se encuentran separadas en el equipo mencionado, en la Figura 2 se observa el sitio de descarga.

##### **Figura 2**

*Lugar de toma de la muestra*



Adicionalmente, para establecer las condiciones fisicoquímicas del agua susceptible de aprovechamiento mediante su reúso se realizó una prueba de laboratorio donde se analizaron los parámetros enunciados en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Parámetros fisicoquímicos solicitados en el análisis de las aguas del autoclave número tres*

| <b>Análisis fisicoquímico de Agua</b>  |                                       |  |
|--|---------------------------------------|--|
| <b>Ensayo/Variable</b>                 | <b>Método</b>                         | <b>Técnica</b>                             |
| <b>Color aparente</b>                  | SM 2550 D                             | Espectrofotométrico                        |
| <b>Turbidez</b>                        | SM 2130 B, Edición 23:2017            | Nefelométrico                              |
| <b>pH</b>                              | SM 4500-H+ B, Edición 23:2017         | Electrométrico                             |
| <b>Temperatura</b>                     | SM 2550 B                             | -  |
| <b>Cloro Residual Libre</b>            | SM 4500-CI G, Edición 23:2017         | Colorimétrico                              |
| <b>Alcalinidad Total</b>               | SM 2320 B, Edición 23:2017            | Volumétrico                                |
| <b>Cloruros</b>                        | SM 4500-CI-B, Edición 23:2017         | Volumétrico                                |
| <b>Dureza Total</b>                    | SM 2340 C, SM 3030 G, Edición 23:2017 | Volumétrico                                |
| <b>Hierro Total</b>                    | SM 3030 K, SM 3111 B, Edición 23:2017 | Espectrofotométrico<br>(Absorción Atómica) |
| <b>Sulfatos</b>                        | SM 4500-SO42- E, Edición 23:2017      | Turbidímetro                               |
| <b>Análisis microbiológico de Agua</b> |                                       |  |
| <b>Coliformes totales y E. coli</b>    | SM 9215 D, Edición 23:2017            | Filtración por Membrana                    |
| <b>Recuento de Heterótrofos</b>        | SM 9222 J D, Edición 23:2017          | Filtración por Membrana                    |

## 4.2 Identificación de usos potenciales

Para establecer los usos potenciales se analizó el resultado de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos solicitados en la prueba realizada, así como la resolución 1207 de 2014, la cual en su artículo 6 establece el conjunto de usos potenciales de las aguas residuales tratadas. Posteriormente, se procedió a determinar la viabilidad económica, técnica y ambiental.

## 4.3 Determinación de la viabilidad económica, técnica y ambiental

Es importante mencionar que para la realización de este análisis de viabilidad solo se tuvieron en cuenta las aguas de enfriamiento del autoclave número tres de la institución, debido a la facilidad de la separación de estas aguas de las que no son susceptibles de aprovechamiento (aguas de vacío).

Actualmente la institución cuenta con dos autoclaves de diferentes proveedores y está en proceso de la adquisición de un tercer equipo, sin embargo, en caso de llegar un nuevo autoclave, su agua junto con la del autoclave número tres serían susceptibles de aprovechamiento por pertenecer al mismo distribuidor, así que en el análisis de la viabilidad se incluye el autoclave que está en proceso de compra. Debe señalarse que para la determinación de la viabilidad del reúso de

los efluentes líquidos se consideró un periodo de un año, este fue la base para la realización de los cálculos.

Para determinar la viabilidad económica se solicitó el consumo mensual de agua y el valor del  $m^3$  de los últimos seis meses, con estos valores se realizaron las operaciones que indicaron el consumo promedio mensual de agua y el costo promedio de dicho consumo. Después se estableció la cantidad de agua requerida para el funcionamiento del autoclave número tres, así como el porcentaje susceptible de aprovechamiento, el cual se estimó en cerca del 80%.

Para establecer el costo de la implementación del sistema de reúso se establecieron dos escenarios, el primer escenario contempló el reúso de las aguas en la recirculación del proceso de esterilización, mientras que el segundo escenario planteó el reúso para la limpieza de los cuartos finales de residuos peligrosos y ordinarios y lavado de los vehículos de recolección.

Ahora bien, cuando se evalúa la viabilidad técnica de un proyecto, se pretende determinar si es posible realizarlo de forma física o material, en algunos casos el análisis de esta viabilidad puede comprender incluso evaluar la capacidad técnica y motivacional del personal de la institución que estará involucrado en el desarrollo del proyecto (Sapag, 2011). Este análisis permitió determinar si los recursos existentes y la infraestructura permiten llevar a cabo el proyecto o si es necesario la adquisición de materiales, nuevas tecnologías o el desarrollo de infraestructura para su desarrollo de este.

La central de esterilización se encuentra ubicada en el sexto piso de la fase tres de la clínica, allí operan dos autoclaves de vapor de diferentes casas comerciales que realizan cada uno en promedio quince ciclos de esterilización al día. Además, cada uno de ellos cuenta con una tubería de cobre de 2 pulgadas por la cual el agua se vierte una vez finaliza el proceso de esterilización desde el sexto piso hacia la caja de drenaje ubicada en la terraza del sótano 1.

Luego de realizar este análisis se estableció que el espacio para la instalación de equipos, así como la instalación de una nueva tubería de cobre son variables para tener en cuenta en la implementación del proyecto.

Finalmente, para establecer la viabilidad ambiental se determinó el ahorro generado mensual y anualmente en  $m^3$  al implementar el sistema y se consideró que la implementación de este tipo de sistemas es una estrategia que puede contribuir a disminuir la presión sobre los cuerpos de agua mientras se contribuye a la sostenibilidad del recurso.

## 5. Resultados y análisis

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización del proceso de esterilización, los usos potenciales de los efluentes y el análisis de la viabilidad económica, técnica y ambiental del reúso de las aguas de los autoclaves de la institución Inversiones Médicas de Antioquia S.A.

Los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua proveniente del proceso de esterilización se compararon con los valores de las resoluciones 1207 de 2014, 0631 de 2015 y 2115 de 2007, dicha comparación puede observarse en la Tabla 2.

**Tabla 2**  
*Resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua*

| Resultados Análisis fisicoquímico de Agua |  | Comparativo                                |  |                                 |
|---|--|--|--|---------------------------------|
| Ensayo/Variable                           | Resultado  | Res. 1207 de 2014 Industrial. Max. Accept. | Res. 0631 de 2015. Atención en Salud Humana con y sin Internación. | Res. 2115 de 2007. Max. Accept. |
| Color aparente                            | <5,00 (UPC)  | -  | -  | 15                              |
| Turbiedad                                 | 0,550+/-0,026 (NTU)                                | -  | -  | 2                               |
| pH  | 7 (Unidades de pH)                                 | 6,0 – 9,0                                  | 6,0 – 9,0  | 6,0 – 9,0                       |
| Temperatura                               | > 45 (°C)  | -  | -  | -                               |
| Cloro Residual Libre                      | 0,4 (mg Cl <sub>2</sub> /L)                        | -  | -  | 0,3 – 0,2                       |
| Alcalinidad Total                         | 12,1+/-1,6 (mg CaCO <sub>3</sub> /L)               | -  | Análisis y Reporte   | 200                             |
| Cloruros                                  | < 5,00 (mg Cl /L)                                  | 300  | -  | 250                             |
| Dureza Total                              | 23,7+/-1,0 (mg CaCO <sub>3</sub> /L)               | -  | Análisis y Reporte   | 300                             |
| Hierro Total                              | < 0,200 (mg Fe/L)                                  | 5,0  | -  | 0,3                             |
| Sulfatos                                  | 5,94 +/-0,53 (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L) | 500  | -  | 250                             |
| Análisis microbiológico de Agua           |  |  |  |                                 |
| Recuento de Heterótrofos                  | < 1 (UFC/mL)                                       | -  | -  | -                               |
| Coliformes totales y E. coli              | < 1 (UFC/100 mL)                                   | -  | -  | 0                               |
| Escherichia coli                          | < 1 (UFC/100 mL)                                   | -  | -  | 0                               |

Es importante mencionar que los análisis realizados en la caracterización de los efluentes son diferentes a la propuesta inicialmente planteada, debido a que esta no fue aprobada por la institución por su alto valor, al ser un primer análisis de viabilidad e implementación del sistema sería prudente iniciar con parámetros que no fuesen de alto costo.

La mayoría de los parámetros están asociados con la norma de agua potable puesto que el equipo cuenta con un sistema de osmosis para tratar este tipo de agua antes de iniciar el proceso de esterilización y a que se contempla realizar recirculación de los efluentes en el equipo, utilizar el agua en el regado de jardines y la limpieza de cuartos de disposición final de residuos.

Del mismo modo, algunos parámetros están contemplados en la norma de reúso y en la norma de vertimientos. Cabe resaltar que el análisis fisicoquímico y microbiológico se realizó tomando el peor escenario, es decir, de las aguas de vacío que no son susceptibles de aprovechamiento, caso contrario a las denominadas aguas de enfriamiento que son aprovechables en cerca de un 80%.

Al realizar la comparación con los parámetros de la Resolución 1207 de 2014 se observa que se cumplen con los criterios de calidad establecidos, del mismo modo ocurre con la Resolución 0631, donde los resultados están por debajo de los máximos admisibles, respecto a la resolución 2115 de 2007 se cumple con todos los parámetros a excepción del cloro residual donde se obtuvo un resultado ligeramente superior al establecido en la norma y las coliformes totales y E. coli, donde el según el resultado no se cumple con la norma.



## 5.1 Usos potenciales

Los usos potenciales contemplados en la normativa, así como los criterios que podrían aplicar en la institución se relacionan en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Usos potenciales contemplados en la resolución 1207 de 2014 adaptados a la institución*

| Uso agrícola  | Uso industrial   |
|---|--|
| <p>El riego de áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.</p> <p>El riego de Jardines en áreas no domiciliarias.</p>   | <p>Limpieza mecánica de vías.</p>  |
| <p>La institución cuenta con amplias zonas verdes y una parque interno que cuenta con gran cantidad de especies arbóreas, cabe mencionar además que debido a que la normativa cuenta con un sinnúmero de vacíos y no logra abarcar a todos los sectores es un poco forzado elegir estos usos probables.</p> | <p>Así como ocurre con la elección de los usos agrícolas la normativa se queda corta con el reúso contemplado en la misma, la limpieza mecánica de vías se elige debido a que esta agua puede utilizarse para realizar el lavado de algunas áreas y zonas comunes de la institución.</p> |

Puesto que los usos contemplados en la normatividad no aplican directamente al reúso que se puede realizar en la institución se proponen otras alternativas que apliquen a las necesidades de esta. Se propone realizar el reúso de estas aguas en la recirculación del sistema de esterilización, así como en la limpieza de los cuartos finales de almacenamientos de residuos peligrosos y ordinarios y el lavado de los vehículos de recolección de residuos.

## 5.2 Viabilidad económica

El consumo promedio mensual de agua en la Institución es de  $2.846 m^3$ , teniendo en cuenta que el costo promedio del  $m^3$  es de \$ 2.925,84, el costo mensual correspondiente al consumo generado es de \$ 8'326.453. En la Tabla 4 puede observarse el consumo de agua y el valor de la factura durante los últimos 6 meses.

**Tabla 4**

*Cantidad y costo del agua consumida en la institución primer semestre del año 2021*

| Mes            | Consumo $m^3$ | Costo de $m^3$ | Costo total  |
|----------------|---------------|----------------|--------------|
| <b>Enero</b>   | 3.006         | \$ 2.843,36    | \$ 8'553.690 |
| <b>Febrero</b> | 3.026         | \$ 2.843,36    | \$ 8'610.558 |
| <b>Marzo</b>   | 2.981         | \$ 2.966,46    | \$ 8'849.567 |
| <b>Abril</b>   | 2.852         | \$ 2.966,46    | \$ 8'466.894 |
| <b>Mayo</b>    | 2.574         | \$ 2.967,70    | \$ 7'741.967 |
| <b>Junio</b>   | 2.636         | \$ 2.967,70    | \$ 7'925.965 |

Cabe destacar que el autoclave número tres consume cerca de  $0,449 m^3$  en cada ciclo de esterilización, se estima que el 80% de este volumen es aprovechable, es decir, cerca de  $0,359 m^3$ . Al multiplicar el consumo del autoclave por el número promedio de ciclos de esterilización realizados al día (cerca de quince ciclos) se obtiene una cantidad de agua susceptible de reúso y aprovechamiento de cerca de  $5,385 m^3$  diarios, lo cual representa un ahorro de cerca de \$ 17.755,6 diarios, \$ 472.669 mensuales y alrededor de \$ 5'672.033,4 anuales.

De la misma forma, aprovechando el agua del nuevo equipo de la misma casa comercial el ahorro generado sería de \$ 945.338 mensuales y cerca de \$ 11'344.056 anuales, a su vez se generaría un ahorro de  $10,77 m^3$  diarios,  $323,1 m^3$  mensuales, y cerca de  $3.877,2 m^3$  anuales.

Para determinar la viabilidad económica de la instalación del sistema de reúso de aguas provenientes de los autoclaves se contemplan 2 escenarios posibles.

### 5.2.1 Escenario 1

Este escenario contempla el reúso de las aguas en la recirculación para el proceso de esterilización en autoclaves de la institución cuando esté en funcionamiento el nuevo autoclave de la misma casa comercial del autoclave número tres, para esto se contemplan las inversiones propuestas en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Análisis de costos aproximados para el escenario 1*

| Insumo o equipo                                  | Cantidad  | Costo               |
|--|-----------|---------------------|
| <b>Bomba de alta presión de 7.5 Hp</b>           | 1         | \$3'251.099         |
| <b>Tanque de almacenamiento acero calibre 16</b> | 2         | \$2'400.000         |
| <b>Instalación de tubería de cobre</b>           | 30 metros | \$4'440.500         |
| <b>Costo total inversión inicial aproximada</b>  |           | <b>\$10'091.599</b> |

Si se tiene en cuenta que el ahorro generado en un año si se aprovechan las aguas de enfriamiento de los autoclaves de la institución es de \$11'344.066, se podría determinar que el proyecto es viable económicamente para el escenario 1, puesto que la inversión realizada se recuperaría en el primer año de operación del sistema.

### 5.2.2 Escenario 2

Este escenario contempla el reúso de las aguas de los autoclaves de la institución en la limpieza de los cuartos finales de residuos peligrosos y ordinarios y lavado de los vehículos de recolección de estos cuando esté en funcionamiento el nuevo autoclave de la misma casa comercial del autoclave número tres, para esto se contemplan las inversiones propuestas en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Análisis de costos aproximados para el escenario 2*

| Insumo o Equipo                                  | Cantidad  | Costo        |
|--|-----------|--------------|
| <b>Motobomba residencial con motor 2.0 Hp</b>    | 1         | \$1'432.677  |
| <b>Tanque de almacenamiento acero calibre 16</b> | 2         | \$2'400.000  |
| <b>Instalación de tubería de cobre</b>           | 30 metros | \$4'440.500  |
| <b>Costo total inversión inicial aproximada</b>  |           | \$ 8'273.177 |

Si se tiene en cuenta que el ahorro generado en un año si se aprovechan las aguas de enfriamiento de los autoclaves de la institución es de \$11'344.066, se podría determinar que el proyecto es viable económicamente para el escenario 2, puesto que la inversión realizada se recuperaría en menos del primer año de operación del proyecto.

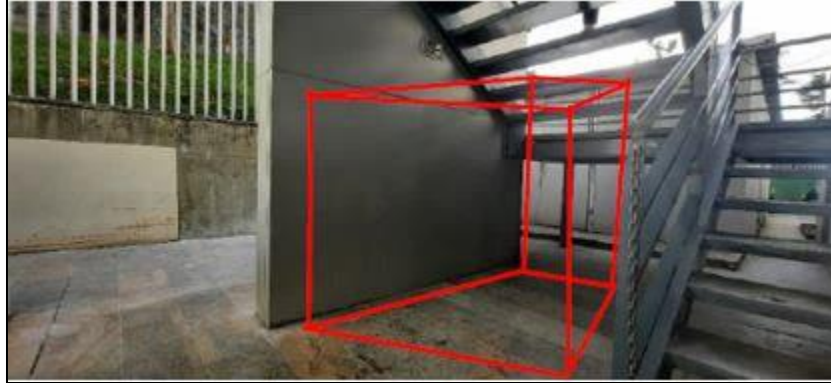
### 5.3 Viabilidad técnica

La zona en la que se encuentra ubicada la central de esterilización es una zona compacta y al igual que las demás áreas de la institución, no cuenta con espacio para la adecuación e instalación de recipientes que permitan almacenar las aguas de reúso, a esto se suma que las losas del piso no podrían soportar el peso generado por el agua almacenada en los tanques.

Debido a lo anterior, se sugiere que los tanques de almacenamiento sean ubicados en la terraza del sótano 1, contiguos a las escaleras de evacuación puesto que es a este lugar llegan las tuberías mostradas en la Figura 3 provenientes del sexto piso. En la Figura 3 puede observarse el espacio sugerido para la ubicación de los tanques de almacenamiento.

**Figura 3**

*Espacio sugerido para la instalación de los tanques de almacenamiento de las aguas de reúso*

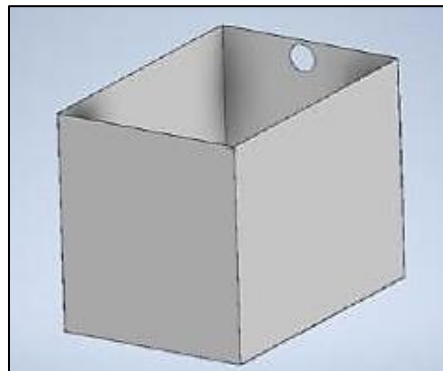


Por otra parte, al ser esta una zona contigua a las escaleras de emergencia debe evaluarse que la normatividad permita la ocupación de este espacio, siempre y cuando no interfiera en la libre circulación del personal.

En cuanto al material de los tanques de almacenamiento debido a la alta temperatura a la que sale el agua luego del proceso de esterilización, se sugiere que el material de los mismos sea de acero de calibre 16, esto debido a la conductividad térmica que presenta este material la cual contribuye a una disipación de calor más alta que otros materiales (como el polipropileno) permitiendo que el agua se enfríe más rápido, esta sugerencia también se realiza debido a la experiencia obtenida de la institución de salud de la ciudad a la cual se hizo la visita de referenciación, el bosquejo del tanque puede observarse en la Figura 4.

**Figura 4**

*Forma sugerida de los tanques de almacenamiento de las aguas de reúso*



*Nota: Se sugiere que las medidas del tanque de la Figura 5, sean de 70 cm de ancho x 80 cm de alto x 100 cm de largo para obtener un volumen de 560 litros.*

Ya que la central de esterilización se encuentra ubicada en el sexto piso y el tanque de almacenamiento del agua de reúso estaría ubicado en el sótano 1, el reúso de agua dentro del mismo equipo implicaría la adquisición de una bomba de alta presión que permita llevar el agua hacia el séptimo nivel (terraza), donde se encuentra el sistema de osmosis, así como la instalación de una nueva tubería para llevar el agua hacia el sistema anteriormente mencionado, cabe resaltar que la decisión de realizar estas adquisiciones e intervenciones es responsabilidad de la institución.

Como se ha planteado, una de las dificultades que presentan las aguas susceptibles de aprovechamiento de los autoclaves es la alta temperatura con la que salen una vez finaliza el proceso de esterilización. La temperatura en el punto de drenaje del autoclave es de alrededor de 93°C, mientras que seis pisos más abajo, luego de bajar por una tubería de cobre, esta presenta picos de temperatura entre los 42°C y los 63° C, es decir en su descenso por la tubería esta pierde calor, no obstante, debido a la variabilidad de esta temperatura no es del todo claro a cuánto equivale el porcentaje de pérdida de calor.

Debido a la alta temperatura del agua, las tuberías que conducen el agua de drenaje de los autoclaves son de cobre y poseen un diámetro de 2 pulgadas, además, cada autoclave posee su propia tubería y que por estas drena tanto el agua de enfriamiento que es susceptible de aprovechamiento, como el agua de vacío que no es aprovechable, es decir las aguas no se encuentran separadas (como si ocurre en otras instituciones que aprovechan el recurso) y fluyen por la misma tubería. En la Figura 5 se observan las tuberías por las cuales desciende el agua proveniente de los autoclaves.

### **Figura 5**

*Tuberías de cobre por las que baja el agua desde el sexto piso hacia el drenaje*



Respecto a la instalación de la tubería necesaria para la separación de las aguas de enfriamiento (aguas aprovechables en el sistema de reúso) de las aguas de vacío (aguas que no son aprovechables), puede determinarse que, si bien el autoclave número tres cuenta con la tubería, las aguas se vierten mezcladas al alcantarillado a través de esta, es decir si bien el equipo presenta la facilidad de separar los efluentes desde su drenaje externo, estos se unen para verterse por el alcantarillado.

Sin embargo, conociendo que la institución ha contemplado la adquisición de un nuevo equipo, esta separación puede realizarse al instalar la tercera tubería de cobre para drenar las aguas del nuevo equipo el cual pertenece a la misma casa comercial del autoclave número tres, se sugiere además que cuando este proceso se realice, por una de las tuberías se viertan las aguas de enfriamiento (aguas de reúso) y por la otra tubería se viertan las aguas de vacío (no aprovechables).

#### **5.4 Viabilidad ambiental**

Con la implementación del sistema de reúso de las aguas de los autoclaves en la institución, al mes se estarían aprovechando cerca de  $323,1 m^3$  de agua, teniendo en cuenta que el consumo mensual promedio de agua en Colombia por suscriptor es de  $14,6 m^3$  (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018), con la implementación de este sistema se podría suministrar agua para cerca de 22 suscriptores del servicio de agua potable al mes, mientras que al año se podrían ahorrar cerca de  $3.877,2 m^3$  de agua lo que equivale a 3'877.200 litros cantidad suficiente para llenar cerca de 10 piscinas olímpicas en un año.

Por otra parte, la implementación de proyectos como este además de generar un ahorro económico en las instituciones se constituye como una estrategia para prepararse frente a los escenarios de creciente escasez del recurso hídrico como consecuencia del cambio climático. Si bien nuestro país cuenta con una oferta hídrica importante el aumento sobre la presión del recurso hídrico es considerable.

El reúso de agua en definitiva contribuye a disminuir esta presión, promoverlo e implementar instrumentos de gestión del recurso hídrico permitirá garantizar la sostenibilidad y optimizar la demanda de este (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

## 6. Recomendaciones

Se recomienda realizar un segundo análisis microbiológico y fisicoquímico solo a las aguas de reúso (de enfriamiento), donde se contemple los parámetros de reúso requeridos por los autoclaves que se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Valores aceptables de los parámetros para recirculación del agua en el autoclave*

| Valores necesarios para recirculación del agua en el autoclave |                                 |
|--|---------------------------------|
| Ensayo/ Variable   | Valor aceptable                 |
| Residuo por evaporación  | ≤15 mg/l                        |
| Sílice   | ≤2mg/l                          |
| Hierro   | 0,2mg/l                         |
| Cadmio   | 0,005mg/l                       |
| Plomo  | 0,05mg/l                        |
| Otros metales Pesados  | ≤0,1 mg/l                       |
| Cloruro  | ≤3mg/l                          |
| Fosfato  | ≤0,5mg/l                        |
| Conductividad  | ≤50μS/cm                        |
| pH   | 6,5 a 8                         |
| Apariencia   | Incoloro, limpio, sin sedimento |
| Dureza   | ≤0,1mmol/l                      |

También se recomienda evaluar la viabilidad de emplear las aguas de reúso en el área de lavado y prelavado del material quirúrgico, así como la calidad y la temperatura del agua requerida para realizar este proceso.

## 7. Conclusiones

El reúso de agua en Colombia es limitado debido a la dificultad para cumplir los parámetros y criterios de calidad propuestos en la normativa, además los usos que se le pueden dar a este recurso son reducidos y se limitan a unos cuantos sectores productivos, sin embargo, esta actividad puede constituirse como un campo para la investigación pues la falta de producción académica limita aún más el desarrollo de este tipo de proyectos.

Durante los últimos años se han implementado iniciativas de reúso de las aguas de las centrales de esterilización en el sector hospitalario, ahora bien, estas iniciativas no se han documentado lo que dificulta el acceso a la información y al conocimiento generado en estos procesos.

El reúso de agua genera un ahorro económico en las instituciones, aunque estos beneficios en muchas ocasiones no suelen obtenerse en el corto plazo, pero también es cierto que el reúso de efluentes líquidos es una opción responsable en términos ecológicos y de preservación y protección del medio ambiente.

Los efluentes líquidos generados en los diversos servicios hospitalarios contienen gran cantidad de contaminantes, sin embargo, estos pueden ser eliminados mediante la implementación de sistemas de lavado, prelavado y procesos de esterilización que permiten realizar un aprovechamiento de estos.

El análisis de la viabilidad de implementación del proyecto indica que este es técnica, económica y ambientalmente factible para cualquiera de los dos escenarios planteados, a pesar del reto que implica realizar dichas intervenciones. No obstante, deben analizarse otras variables que puedan surgir al momento de llevar a cabo el proyecto, puesto que el reúso de los efluentes líquidos producto de los procesos de esterilización no cuenta con suficiente información y cada proceso de implementación es distinto en cada institución.



## 8. Referencias Bibliográficas

- Acosta, S., & De Andrade, V. (2008). *Manual de esterilización para centros de salud*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: <https://tinyurl.com/7jpv564>
- Banco Mundial. (2020). *De residuo a recurso*. Washington DC: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial. Obtenido de Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de las aguas residuales en America Latina y el Caribe: <https://tinyurl.com/6xbvk4p8>
- Beltrán, D. (2014). Soberanía hídrica: repercusión social del fenómeno de “estrés” hídrico en Colombia. *Acta Odontológica Colombiana*, 29-42. Obtenido de <https://tinyurl.com/nfxkznaj>
- Centro Nacional de Producción más Limpia. (10 de Octubre de 1999). *Centro Nacional de Producción más Limpia*. Obtenido de Hospitales, Clínicas y Centros de Salud: <https://tinyurl.com/6w37e6d3>
- Corantioquia. (2015). *ACTUALIZACIÓN Y AJUSTE PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DE LOS RÍOS GRANDE Y CHICO*. Obtenido de <https://tinyurl.com/9nu79vcj>
- Corantioquia. (2016). *Actualización POMCA RÍO ABURRÁ*. Obtenido de Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica: <https://tinyurl.com/zrmz6myd>
- García, M., & Sánchez, F. M. (Agosto de 2001). *Ideam*. Obtenido de El agua: <https://tinyurl.com/re447rs>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (25 de Julio de 2014). *Resolución número 1207 de 2014*. Obtenido de <https://tinyurl.com/btatbeeu>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Minambiente*. Obtenido de Guía para el uso eficiente y ahorro del agua: <https://tinyurl.com/essehc>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Junio de 2021). *Ajuste Normativo Resolución 1207 de 2014*. Obtenido de Dirección de Gestión Integral de Recurso Hídrico: <https://tinyurl.com/urfbx4s>
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (28 de Junio de 2018). *Decreto 1090 de 2018*. Obtenido de <https://tinyurl.com/e4ezanme>

- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos: <https://tinyurl.com/2e2r8m3e>
- Paredes, J. (Mayo de 2013). *Importancia del agua*. Obtenido de <https://tinyurl.com/2273mz67>
- Sapag, N. (2011). *PROYECTOS DE INVERSIÓN, Formulación y Evaluación* (Segunda ed.). (I. Fernandez, Ed.) Santiago de Chile: Pearson Educación.
- Serra, M. d. (2013). Guía para el Manejo del Autoclave en la Central de Esterilización del Hospital Universitario de CEUTA. Obtenido de <https://tinyurl.com/y6dy2ubk>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2018). *Estudio Sectorial de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado*. Obtenido de <https://tinyurl.com/ytuks877>
- Tapias, J., Chacin, C., Guarín, O., & Uribe, J. (2017). Evaluación de las características microbiológicas y fisicoquímicas del agua sometida a procesos de esterilización en autoclaves de vapor. *Journal of Engineering Sciences*, 59-66. doi:<https://doi.org/10.22463/0122820X.1175>