

**EVALUACION DE LA FACTIBILIDAD  
TECNICA, AMBIENTAL Y ECONOMICA  
DEL REUSO DE AGUA EN EL PROCESO  
DE LAVANDERÍA DEL HOSPITAL PABLO  
TOBÓN URIBE**

POR:

Nicolás Atehortua Velásquez



**UNIVERSIDAD DE MEDELLIN**

Especialización en Producción más Limpia  
Medellín  
2012

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
GLOSARIO .....	3
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	4
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVO GENERAL.....	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
ALCANCE.....	8

### CAPITULO 1.

#### CONSIDERACIONES GENERALES

<b>1.1. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
1.1.1. EL AGUA.....	9
1.1.2. CONSUMO DE AGUA EN HOSPITALES.....	11
1.1.3. AGUAS RESIDUALES EN HOSPITALES .....	12
1.1.4. REÚSO DE AGUA.....	14
1.1.5. LAVANDERÍAS HOSPITALARIAS.....	18
1.1.6. OPERACIÓN DE LA LAVANDERÍA HOSPITALARIA .....	19
1.1.6.1. Separación y clasificación .....	19
1.1.5 REÚSO DE AGUA EN LA LAVANDERÍA. CASO EXITOSO PRESENTADO EN LA FUNDACIÓN CLÍNICA VALLE DE LILI DE CALI .....	21

### CAPITULO 2.

#### ESTUDIO DE FACTIBILIDADES

<b>2.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA.....</b>	<b>22</b>
2.1.1 UBICACIÓN.....	22
2.1.2 CALIDAD DEL AGUA.....	24
2.1.3 ALGUNAS TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO .....	29

2.1.4	CALCULO DE REÚSO DE AGUA .....	37
<b>2.2</b>	<b>FACTIBILIDAD AMBIENTAL .....</b>	<b>39</b>
2.2.1	HUELLA HÍDRICA AZUL .....	40
2.2.2	CALCULO DE LA HUELLA HÍDRICA .....	42
<b>2.3</b>	<b>FACTIBILIDAD ECONÓMICA .....</b>	<b>45</b>
2.3.1	CALCULO DE LA RENTABILIDAD .....	46

### **CAPITULO 3**

### **CONCLUSIONES**

<b>3.1</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 PROCESO DE LAVADO DE ROPA DE ALTA DE SUCIEDAD.....	5
FIGURA 2. PORCENTAJE DE CONSUMO DE AGUA .....	7
FIGURA 3 CICLO DE EFLUENTES HOSPITALARIOS.....	13
FIGURA 4 SISTEMA DE REÚSO DE AGUA EN LAVANDERÍA .....	22
FIGURA 5. PROPUESTA DE REÚSO PARA EL HOSPITAL PABLO TOBÓN URIBE .....	23
FIGURA 6. BALANCE DE AGUA DEL LAVADO DE ALTA SUCIEDAD EN UNA LAVADORA .....	38
FIGURA 7. ESQUEMA DE REÚSO1908 DE AGUA .....	39

## INDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 1. DISTRIBUCIÓN DE LA CANTIDAD TOTAL DE AGUA EN LA SUPERFICIE TERRESTRE ...	10
GRÁFICO 2. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA TOTAL EN LA TIERRA .....	10
GRÁFICO 3. CONSUMO DE AGUA DULCE DISPONIBLE .....	11
GRÁFICO 4. INCREMENTO EN LA CANTIDAD (KG) DE ROPA LAVADA.....	23
GRÁFICO 5. TENDENCIA EN INDICADOR CONSUMO DE AGUA EN LA LAVANDERÍA .....	24

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE IMPLEMENTACIONES Y LOGROS ALCANZADOS EN EL ÁREA DE LAVANDERÍA.....	25
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA.	25
TABLA 3. COMPONENTES QUÍMICOS TÍPICOS QUE PUEDEN ENCONTRARSE EN EL AGUA RESIDUAL Y SUS EFECTOS. ....	27
TABLA 4 CALIDAD DE AGUA REQUERIDA PARA LA LAVANDERÍA HOSPITALARIA.....	27
TABLA 5. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA EPM.....	28
TABLA 6. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA VERTIDA EN EL LAVADO DE ALTA SUCIEDAD EN EL HOSPITAL PABLO TOBÓN URIBE.....	29
TABLA 7. OPERACIONES O PROCESOS UNITARIOS SEGÚN EL NIVEL DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	31
TABLA 8. CRITERIOS PARA SELECCIONAR SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	32
TABLA 9. OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA ELIMINAR LA MAYORÍA DE LOS CONTAMINANTES PRESENTES EN EL AGUA RESIDUAL.....	33
TABLA 10. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE UN EFLUENTE ANTES Y DESPUÉS DE LA COAGULACIÓN.....	35
TABLA 11. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE UN EFLUENTE ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON MEMBRANAS FILTRANTES. ....	36
TABLA 12. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS PARA EL REÚSO DEL AGUA.....	39
TABLA 13. EQUIPOS BÁSICOS PARA EL REÚSO.....	47
TABLA 14. FLUJO DE CAJA.....	47

## RESUMEN

El Hospital Pablo Tobón Uribe cuenta con una lavandería para la limpieza de la ropa hospitalaria, dotada con tres lavadoras las cuales consumen un promedio de 2.818,2 m<sup>3</sup> de agua mensual.

Por medio de alternativas de producción mas limpia estas aguas pueden ser recuperadas y usadas para distintos fines y así evitar el desperdicio del agua.

El reúso del agua permite ahorrar 822,5 m<sup>3</sup> de agua al mes lo que equivale a 27.400 litros diarios. Si estas aguas se recogieran durante 5 días, podrían abastecer un campo de refugiados de 5.000 personas desplazadas (que incluye 2.000 niños en edad escolar), 25 personas de la agencia de auxilio y 75 vacas.

El ahorro de esta cantidad de agua representa para el hospital un ahorro económico de \$ 2'197.720 mensuales y cuya inversión se recupera en 3 meses.

Por estas razones se considera que el reúso de agua para el Hospital Pablo Tobón Uribe es una inversión que trae beneficios ambientales, económicos y que es viable técnicamente ya que no requiere tecnología de tratamiento para el agua.

## **ABSTRACT**

The Pablo Tobón Uribe Hospital has a laundry for hospital uniforms and clothing comprising of three washing machines that use an average of 2.818,2m<sup>3</sup> of water per month.

By using alternative processes based on “cleaner production” this water can be recovered and used for diverse purposes, thereby avoiding wasting water.

Reusing this water will save 822,5m<sup>3</sup> of water per month, which is equivalent to 27,400 litres per day. If this water were to be collected over a five day period it would be enough to provide water for a refugee camp of 5000 displaced people (including 2000 school age children), 25 staff from the relief agency, and 75 cows.

Saving this amount of water represents an economic saving to the hospital of \$2,197,720 Colombian pesos per month, and the investment required can be recovered in just three months.

For these reasons it is considered that investing in the reuse of water in the Pablo Tobón Uribe Hospital will bring environmental and economic benefits; it is also technically viable as it does not require water treatment technology.



## GLOSARIO

**AGUAS RESIDUALES:** Se consideran Aguas Residuales a los líquidos que han sido utilizados en las actividades diarias de una ciudad (domésticas, comerciales, industriales y de servicios). Comúnmente las aguas residuales suelen clasificarse como (Cuido el agua, 2009):

Aguas Residuales Municipales: Residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal.

Aguas Residuales Industriales: Las Aguas Residuales provenientes de las descargas de Industrias de Manufactura.

Otra forma de denominar a las Aguas Residuales es en base al contenido de contaminantes que esta porta, así se conocen como:

- Aguas negras a las Aguas Residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- Aguas grises a las Aguas Residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y coliformes fecales, esto es, aguas residuales domésticas, excluyendo las de los inodoros.
- Aguas negras industriales a la mezcla de las aguas negras de una industria en combinación con las aguas residuales de sus descargas. Los contaminantes provenientes de la descarga están en función del proceso industrial, y tienen la mayoría de ellos efectos nocivos a la salud si no existe un control de la descarga.

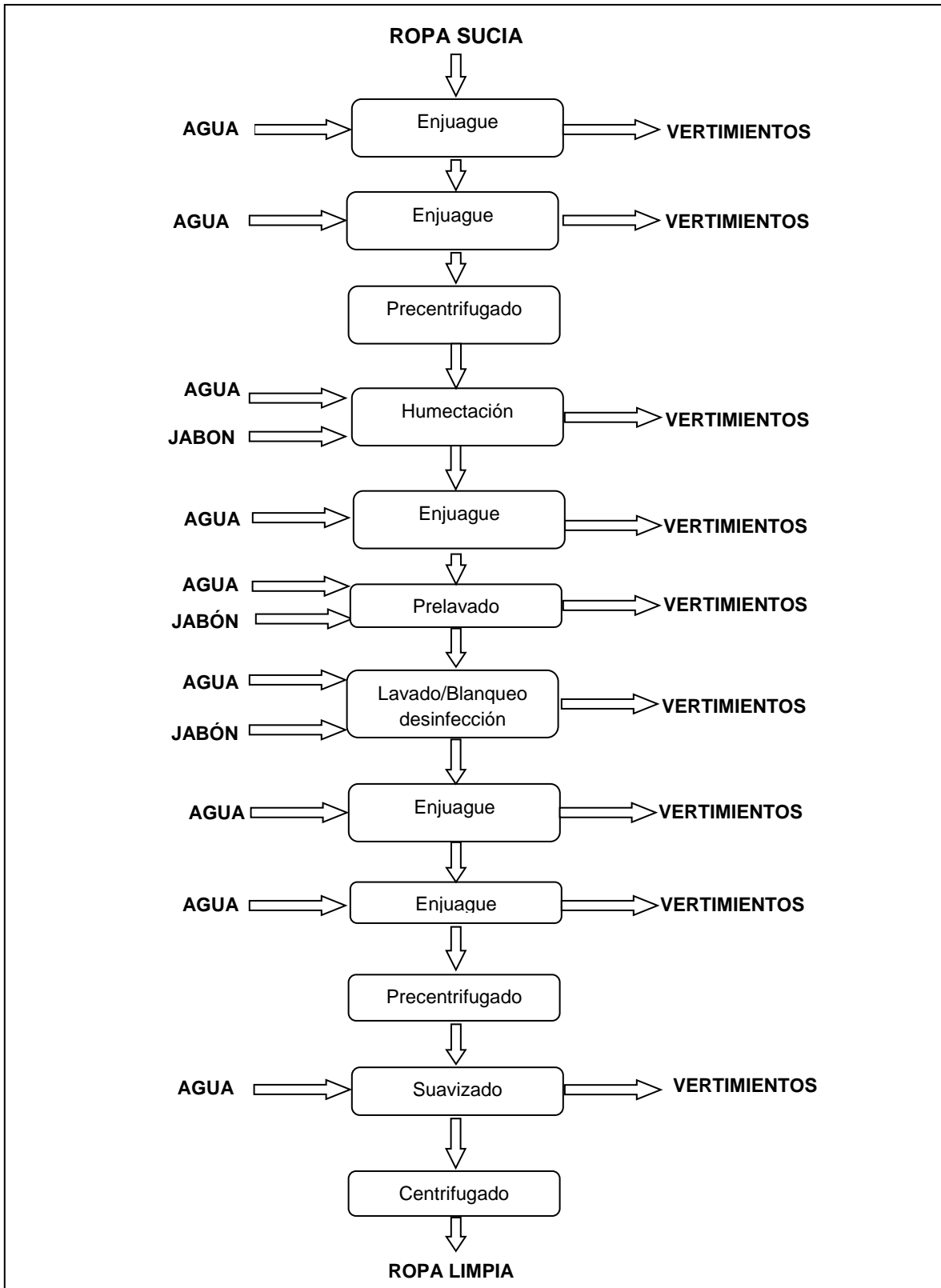
## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El HOSPITAL PABLO TOBÓN URIBE cuenta con una lavandería para el lavado de la ropa hospitalaria en donde, durante el segundo semestre del año 2011, se lavaron en promedio 106.324 kilos de ropa con un consumo promedio mensual de 2.818,2 m<sup>3</sup> de agua.

Teniendo en cuenta el consumo del 2011 y el valor del m<sup>3</sup> de agua promedio (\$2.672), los costos promedio pagados durante este año fueron de 15.060.460\$.

El proceso de lavado de ropa en el Hospital consta de varios ciclos en los cuales hay ingresos de agua con altos consumos, como se observa en la Figura 1 (Elaboración propia) el cual es el proceso de lavado para ropa de alta suciedad.

Es por ello que el área de salud ocupacional y gestión ambiental promueve una iniciativa importante en el ahorro de agua, que consiste precisamente en el reúso de las aguas grises provenientes del área de lavandería.



**Figura 1 Proceso de lavado de ropa de alta de suciedad.**

**(Elaboración propia)**

- Primeros enjuagues: Se hacen con el fin de humedecer la ropa y así permitir una mayor penetración del químico.
- Humectación: Permite que a la ropa ingrese el jabón que se usa para el lavado principal
- Prelavado: Consiste en un lavado que retire la mayor cantidad de suciedad y jabón contenido en la ropa.
- Blanqueado y desinfección: blanquea y desinfecta la ropa.
- Tercer y cuarto enjuague: Se hacen para retirar el jabón de la ropa.
- Precentrifugado: en este proceso se retira el agua adherida en la ropa.
- Suavizante: El suavizado hace que la ropa no quede áspera y así mejora la comodidad para los pacientes.
- Centrifugado: Se retira el total de agua acumulada en la ropa.

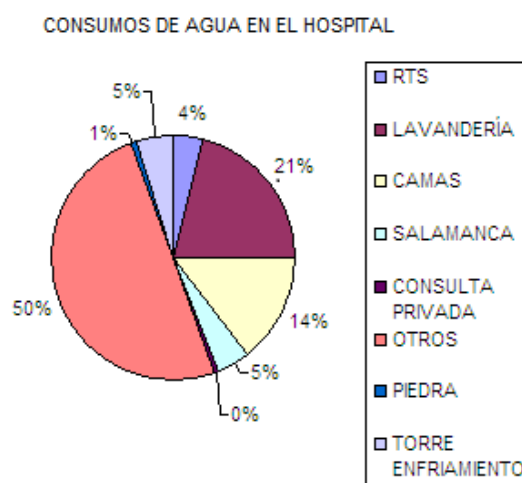
## **JUSTIFICACIÓN**

“Nuestros hábitos insostenibles de consumo y producción hacen que el consumo vaya cada vez en aumento. Este hecho, unido al aumento de la población mundial, los condicionantes climáticos y la contaminación de las fuentes de calidad, convierte al agua en uno de los principales orígenes de crisis entre países.” (Consumo Responsable, 2011)

Es por esto que el HOSPITAL PABLO TOBÓN URIBE esta comprometido con el cuidado del medio ambiente, teniendo un programa par el manejo de los residuos hospitalarios, las emisiones atmosféricas, el cuidado del componente arbóreo y

paisajístico y el cuidado del agua tanto en sus consumos como en sus vertimientos. Adicionalmente, cuenta con la certificación en la norma ISO 14001 para los sistemas de gestión ambiental.

Una de las fuentes de mayor consumo de agua dentro del Hospital es la lavandería la cual cuenta con tres lavadoras y cuyo consumo representa el 21% de las aguas consumidas del Hospital Pablo Tobón Uribe como se observa en la figura 2 (Hospital Pablo Tobón Uribe), siendo este el segundo mayor consumo de todo el Hospital



**Figura 2. Porcentaje de consumo de agua**  
**(Fuente: Hospital Pablo Tobón Uribe)**

Debido a que la demanda de agua crece constantemente, ya que el hospital esta en constante crecimiento y se tiene proyectado, a dos años, un edificio nuevo que duplica la capacidad actual, es necesario invertir en proyectos de infraestructura que optimicen la distribución y aprovechamiento tanto al entrar como al salir de las lavadoras, razón por la cual se hará un estudio en donde se pueda determinar la factibilidad técnica, económica y ambiental del reúso de las aguas usadas en los lavados.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental del reúso de las aguas residuales generadas en la lavandería, como estrategia de sostenibilidad para el Hospital.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Plantear metodologías de producción mas limpia que permitan disminuir el consumo de agua en el proceso.
- Desarrollar estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua.
- Evaluar las condiciones físico - químicas del agua necesaria para los lavados de ropa hospitalaria.

## **ALCANCE**

El proyecto propone conocer la factibilidad técnica, económica y ambiental de recircular el agua del lavado de ropa hospitalaria.

# CAPITULO 1

## CONSIDERACIONES GENERALES

### 1.1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1.1. El Agua

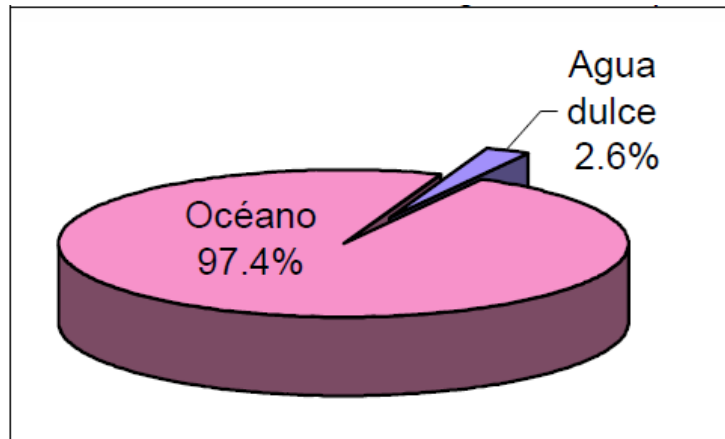
El agua es un componente químico muy abundante en la biosfera y quizá el más importante ya que casi toda la vida en la tierra, incluso la humana, utiliza agua como medio fundamental para el funcionamiento del metabolismo. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Aproximadamente el 97.4% de la provisión mundial de agua se encuentra en los océanos y el 2.6% restante es agua dulce que es un recurso renovable limitado, del cual solamente esta disponible el 0.6% (lagos, subterránea, atmósfera y ríos) es decir 2850 mil millones de m<sup>3</sup>, como se ilustra a en los Gráficos 1 y 2. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

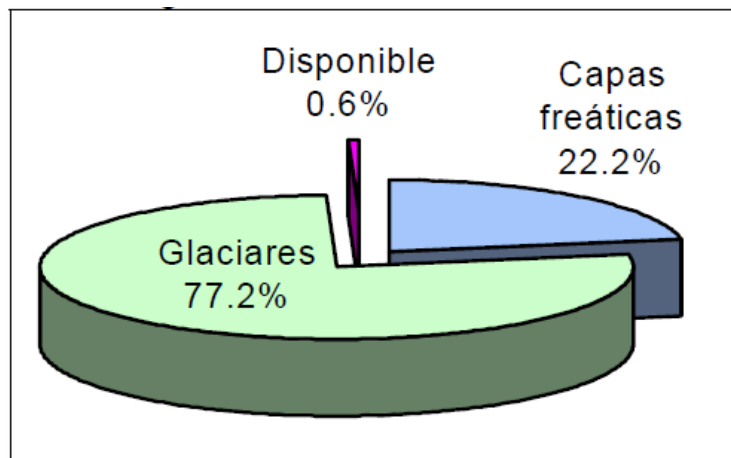
En el Gráfico 3, se observa que del agua dulce disponible un 7% se destina a la industria, es decir 200 mil millones m<sup>3</sup> (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

El ritmo al cual se puede consumir la provisión de agua dulce está limitado por la rapidez con la que el agua circula por el ciclo hidrológico. El tiempo para remplazar el agua varía aproximadamente dos semanas en la atmósfera hasta diez o cien años en los lagos según la profundidad. Actualmente en regiones como Australia, el Norte de México, varias naciones del Medio Oriente y el suroeste de los Estados Unidos, donde la población urbana es relativamente densa y llueve poco se presenta escasez de agua y además en estas regiones se extrae mayor cantidad de agua que la que reponen la precipitación pluvial, esto sumado a la provisión de agua en abundancia para usos municipales, industriales y agrícolas sin restricciones, sin incentivos que alienten la reutilización o conservación, ha

incrementado en alto grado la competencia para conseguir fuentes limitadas de agua fácilmente accesible. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

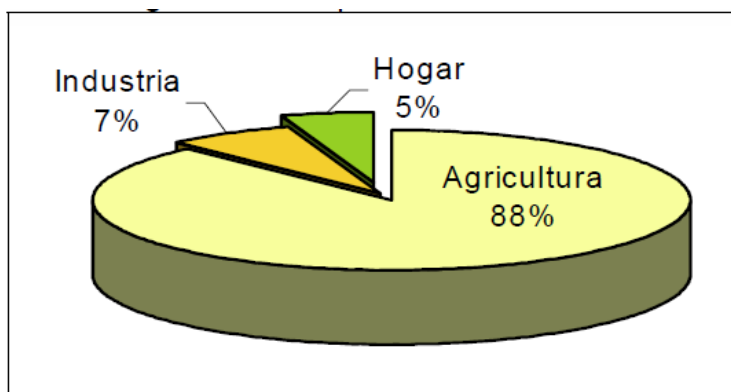


**Gráfico 1. Distribución de la cantidad total de agua en la superficie terrestre**  
(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)



**Gráfico 2. Distribución del agua total en la tierra**  
(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)





**Gráfico 3. Consumo de agua dulce disponible**  
(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

### 1.1.2. Consumo de agua en hospitales

Los hospitales consumen ingentes cantidades de agua, además de la energía que se necesita para calentarla, bombearla y eliminarla. El cambio climático, con las repercusiones que lo acompañan de sequía, fusión de los glaciares y agotamiento de los acuíferos, exacerbarán la escasez de agua. (OMS, Hospitales saludables, planeta saludable, personas saludables. Abordando el cambio climático en los establecimientos de salud., 2008)

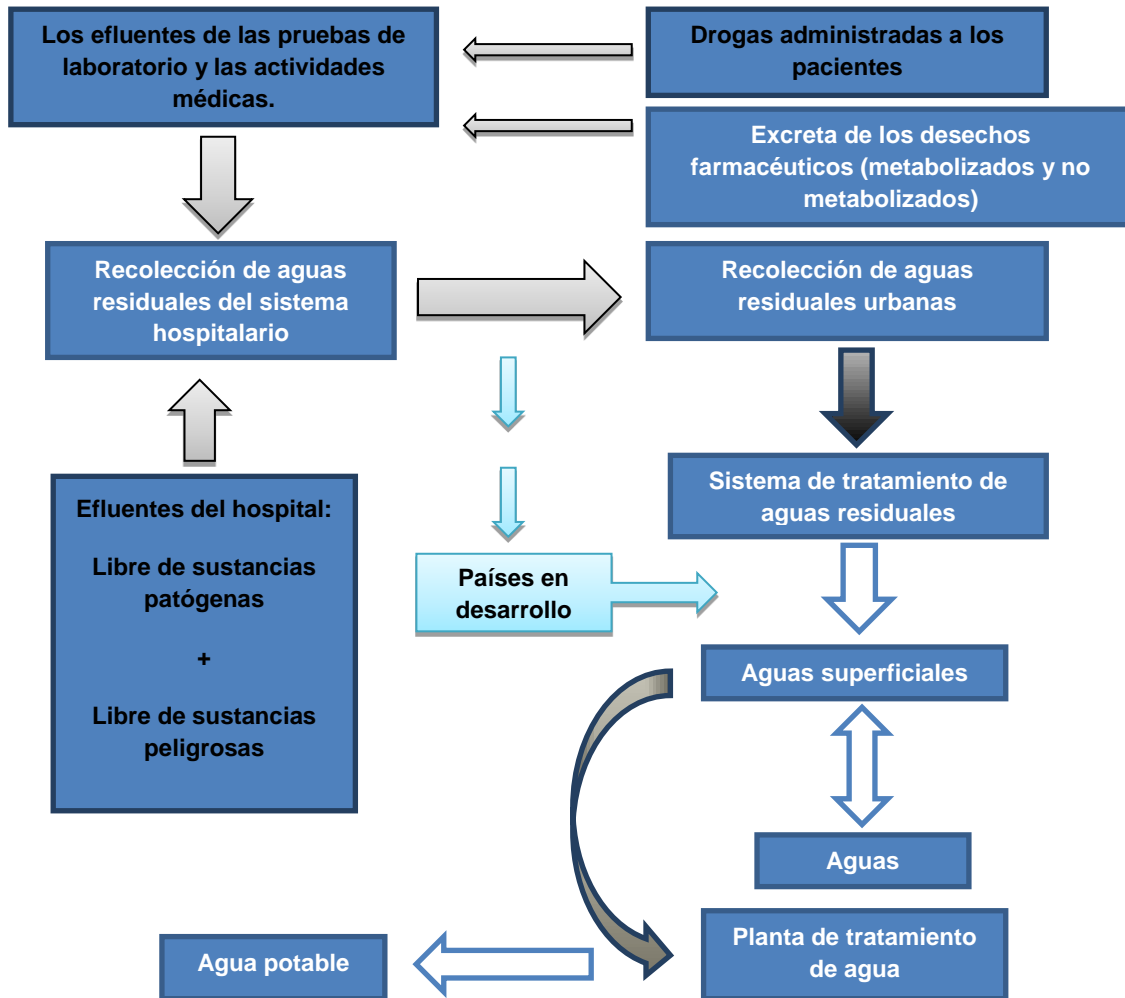
El recurso hídrico en la actividad hospitalaria es utilizado en la preparación de alimentos para pacientes, personal médico, paramédico y auxiliar; en lavado de ropa de camas y cirugía; servicios sanitarios; duchas de cuartos de hospitalización; salas de operaciones; atención al paciente; residencias médicas y de enfermería; mantenimiento; aseo general de instalaciones y equipos; riego de jardines y zonas verdes, y laboratorios, entre otros. (Ambiente, 2006)

Los centros de salud pueden conservar este valioso recurso natural vigilando de cerca su consumo de agua, instalando grifería y tecnologías de bajo consumo, cultivando plantas resistentes a las sequías y asegurándose de que las fugas sean reparadas con rapidez. Para ejercer un impacto de conservación aún más intenso, los hospitales pueden recoger el agua de lluvia y reciclar las aguas residuales para

usos no potables. (OMS, Hospitales saludables, planeta saludable, personas saludables. Abordando el cambio climático en los establecimientos de salud., 2008)

### **1.1.3. Aguas Residuales En Hospitales**

Para el caso hospitalario, en los países desarrollados, los efluentes en general, se desechan sin ningún tratamiento previo a las aguas residuales urbanas, donde se unen con otros efluentes y finalmente van a la planta de tratamiento de agua. Después de la última etapa de tratamiento, las aguas van a un río, a un lago, a las aguas subterráneas o al océano, y como es sabido, a veces estas aguas son usadas como agua potable, como se observa en la figura 3 (SANCHES ANDRADE, 2008). Sin embargo, el análisis de contaminantes de los vertimientos de los hospitales contiene ciertas sustancias, en particular los compuestos organohalogenados y residuos de drogas, que suelen salir de las plantas de tratamiento con baja degradación. (SANCHES ANDRADE, 2008)



**Figura 3 Ciclo de efluentes hospitalarios  
(SANCHES ANDRADE, 2008)**

En los países en desarrollo se produce el mismo proceso, pero la diferencia, como se muestra en la figura 3, el efluente es descartado directamente al medio ambiente sin un tratamiento previo. Sin embargo, (EMMANUEL, 2005) señala que a diferencia de lo que se pensaba, los problemas de contaminación en el agua en los países en vía de desarrollo y los desarrollados no es tan diferente ya que los métodos tradicionales de tratamiento de agua no son muy eficaces para la eliminación de diversas sustancias como hormonas, antibióticos, etc. (SANCHES ANDRADE, 2008)

La composición de las aguas residuales procedentes de los centros de salud presenta fluctuaciones más o menos evidentes en su descarga a la red cloacal debido a la gran diversidad de sustancias químicas y materiales biológicos eliminadas en los mismos. (M. PAZ, 2009)

Tanto los residuos sólidos como los efluentes líquidos provenientes de centros hospitalarios representan un impacto sobre la salud pública cuya magnitud ha comenzado a evaluarse en los últimos años en ámbitos científicos (Bassi MD, 2003). En este contexto la División de Apoyo Operacional en Salud Ambiental y el Centro Europeo de Salud Ambiental de la OMS han formado un grupo internacional para estudiar el problema de los residuos en los centros de salud en países en desarrollo. (M. PAZ, 2009)

#### **1.1.4. Reúso De Agua**

Con el crecimiento concomitante de la demanda de agua para las poblaciones, la reutilización del agua se considera cada vez más en la planificación y operación de nuevas fuentes de agua (SANCHES ANDRADE, 2008)

La reutilización de agua reduce la demanda de las existencias de agua natural debido a la sustitución de la fuente, es decir, la sustitución de agua potable por un agua de calidad inferior, donde dicha sustitución es posible, en vista de la calidad requerida para el consumo. La decisión de restaurar la calidad del agua para su reutilización se ha convertido en una opción realista para satisfacer las demandas de agua en las ciudades y los campos de cultivos (SANCHES ANDRADE, 2008)

Para una mejor comprensión de la reutilización de agua es esencial definir algunos conceptos que se utilizan ampliamente (SANCHES ANDRADE, 2008)

- Reúso planificado del agua: esto significa que es el uso es deliberado, directa o indirectamente, de aguas residuales recuperadas, incluido el control físico-químico y microbiológico durante el suministro.
- Reúso no planificado del agua: es el uso accidental de las aguas residuales tras su descarga y sin ningún tipo de control. Un ejemplo es la captación de agua de un río aguas debajo de la descarga de las aguas residuales tratadas (o no).
- Recuperación del agua: es la renovación de las aguas a su calidad original a través de tratamientos o transformación. En una definición relacionada con la reutilización significa mejorar la calidad del agua de modo que pueda ser utilizada directamente (es decir, la reutilización directa).
- Agua residual recuperada: es el agua residual que, como resultado de un proceso de recuperación, es apta para un uso determinado o para un uso debidamente controlado.
- Reciclaje de aguas residuales: es el uso de las aguas residuales que se recogen y se envían al sistema de agua. El reciclaje se practica a menudo en la industria, a nivel de operación de la planta industrial.
- reúso indirecto de las aguas: también conocido como reúso del agua natural, significa el uso de fuentes de agua que fueron anteriormente aguas ya usadas. Como ejemplo, en un curso de agua, en algún lugar a lo largo del río, fueron vertidas aguas residuales (tratadas o no) y que estas aguas se captan en un punto mas abajo, después de sufrir la autodepuración.
- reúso directo de las aguas: es el uso de descargas de agua residual regenerada, sin la intervención de los cuerpos de agua natural. Por lo

general incluye el uso para el riego (con fines de producción agrícola y paisajístico)

- reúso del agua como potable: es la forma de reutilización que consiste en el suministro público de agua a través de la introducción, directa o indirectamente, de aguas residuales tratadas con un alto nivel para garantizar la protección de la salud.
- reúso industrial: es el uso de las aguas residuales tratadas (cuando el tratamiento es necesario) para alimentación de torres de enfriamiento, calderas, intercambiadores de calor, tratamiento de aguas, construcción y otros usos industriales menos exigentes en cuanto a la calidad del agua.
- reúso en el hogar: es el uso de las aguas residuales para el riego de jardines residenciales, limpieza de vehículos, áreas verdes y suelos y para la descarga de inodoros. Automáticamente implica la existencia de un sistema de suministro público de agua, que se usa en muchas ciudades, donde hay dos redes, una para el agua potable y otra de menor calidad para otros usos.
- reúso para mantenimiento de caudales mínimos de los ríos: este es un uso previsto de las aguas residuales recuperadas para garantizar los caudales mínimos para la dilución de contaminantes en cuerpos de agua receptores.

Westerhoff (1984) citado en (MANCUSO, 2003), clasifica el reúso de agua en potable y en no potable. El reúso del agua potable puede ser definido como directo o indirecto. En el caso de reúso de agua potable directo del efluente tratado se reutiliza por un sistema avanzado de agua potable. En el caso de reúso de agua potable indirecto, el efluente tratado se libera en un cuerpo de agua superficial o subterránea para su posterior uso. En el caso del reúso de agua no potable, el

mismo se aplica a la agricultura, la acuicultura y la recarga de acuíferos. (SANCHES ANDRADE, 2008)

Por otro lado, generalmente en la industria, se tienen diferentes puntos de consumo de agua, que requieren diferentes normas de calidad. De nuevo, el reúso es eficaz solo cuando las características de efluente tratado son compatibles con los de los usos específicos. Hay casos en que es necesario instalar un proceso adicional para el tratamiento de efluentes, de modo que alcancen el nivel requerido. (SANCHES ANDRADE, 2008)

El análisis de la viabilidad del uso de agua tratada se inicia con la caracterización cualitativa y cuantitativa de los efluentes generados, se establecen los criterios para la segregación y los tratamientos necesarios. (SANCHES ANDRADE, 2008)

El uso de un efluente tratado como una fuente de agua para lograr ciertos fines, implica un sistema de gestión que supervise continuamente esta fuente alternativa de agua (cantidad y calidad) con el fin de asegurar un buen funcionamiento y una mayor vida útil de los equipos y los procesos relacionados, así como proteger a los usuarios de cualquier riesgo para la salud. (SANCHES ANDRADE, 2008)

En resumen, los pasos para analizar la posibilidad de reúso de agua residual en un edificio debe tener en cuenta: (SANCHES ANDRADE, 2008)

- Análisis de los tipos de residuos generados
- Segregación específica de los residuos generados
- Verificación de la posibilidad de aplicación directa de los efluentes
- Evaluación de la cantidad y calidad de agua residual tratada
- Especificación de las tecnologías de tratamiento posibles en términos de actividades de consumo.
- Evaluación de los costos relacionados con las tecnologías necesarias, dispositivos de control y la aplicación del sistema de gestión

Las medidas de seguridad necesarias para aplicar en un programa de reúso de agua incluyen (SANCHES ANDRADE, 2008):

- Aplicación de un tratamiento acorde con la calidad del efluente y con los requisitos de calidad establecidos para el uso previsto. Esto requiere de un conocimiento suficiente sobre la calidad del efluente a tratar y la aplicación de técnicas de tratamiento que sean más seguras para estos efluentes.
- Asegurar que el sistema de tratamiento va a producir la calidad del agua requerida.
- Diseño, instalación y operación del sistema de distribución de modo que, a lo largo del camino entre la salida del sistema de tratamiento de agua y los puntos de entrega, el agua no se use, de forma intencionada o accidental, para otros fines que la especificada.

El reúso de agua para cualquier propósito, depende de su calidad física, química y microbiológica. La mayoría de los parámetros fisicoquímicos son bien conocidos, siendo posible establecer criterios de calidad para el reúso. Entonces, se debe especificar en cada caso, la viabilidad técnica, las inversiones necesarias, la operación logística y los costos de mantenimiento. (SANCHES ANDRADE, 2008)

#### **1.1.5. Lavanderías Hospitalarias**

El servicio de Lavandería es un servicio incluido dentro de los servicios generales hospitalarios, manejado por personal especializado y que dispone de tecnología adecuada para proporcionar una atención especial a través de rigurosa y constante supervisión. El servicio de lavandería en un hospital es una de las actividades relacionadas con su cadena logística interna y cuyo objetivo es proveer oportunamente prendas limpias para pacientes y personal asistencial a partir de las prendas sucias que se recogen en cada servicio del hospital.



La importancia a través del tiempo que los Servicios Generales hospitalarios han ido tomando, aunado a la necesidad de mejorar la calidad percibida por los usuarios de la asistencia médica, hacen que se proporcione un mejor servicio a los usuarios y que se garantice el suministro con eficiencia en la cantidad y calidad necesarias. La misión de la Lavandería Hospitalaria, es el lavado e higienización de la ropa hospitalaria en general utilizada en las diferentes áreas de la institución, para que el usuario final disponga durante su estancia o su trabajo en el hospital una ropa adecuada.

El servicio de lavandería consiste, en primer lugar, en la recogida de ropa sucia en las dependencias y su traslado a al sitio adecuado para su tratamiento, utilizando para ello medios de transporte llamados comúnmente compreseros, una vez en el sitio de trabajo, se clasifica por tipo de ropa para llevar a cabo su correspondiente proceso de higienización (lavado, secado y planchado); cuando la ropa es lavada y secada pasa al proceso de planchado; una vez planchada y doblada la ropa, se procede a su empaquetado y almacenamiento para finalmente realizar el transporte y entrega de la ropa higienizada a cada servicio según la demanda o requerimiento de los mismos. La calidad es y debe ser un aspecto prioritario en la actividad de prestación del servicio de la Lavandería, contando para ello con una infraestructura adecuada y la dotación necesaria para la obtención de un buen resultado en el proceso de lavado. (D.C., 2009)

### **1.1.6. Operación De La Lavandería Hospitalaria**

#### **1.1.6.1. Separación y clasificación**

La ropa que llega a la lavandería se clasifica de acuerdo a sus características de suciedad y de acuerdo a esta se realizan los lavados. La clasificación es de la siguiente manera:

- *Alta suciedad e Infectada*: este tipo de lavado se hace a aquella ropa que se encuentra sucia de sangre y/o fluidos corporales en gran cantidad para lo cual se

realizan 5 etapas del lavado a temperatura ambiente. Se usan 5 productos químicos y un consumo de 3200 ml de agua. Para la etapa de desinfección la temperatura aumenta con respecto al resto.

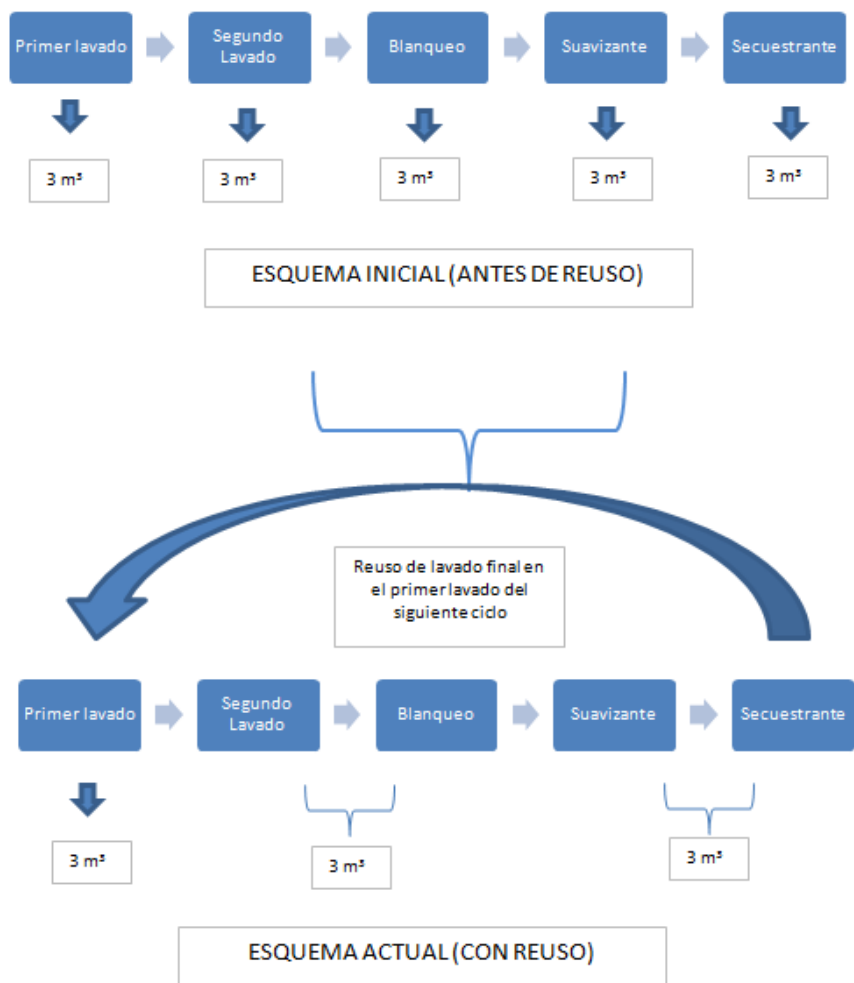
- *Lavado de Pijamas antifluído:* este lavado se enfoca en las pijamas usadas por los cirujanos en el proceso de cirugía. Para este proceso se requiere de 2 etapas, una a temperatura ambiente y la otra a una temperatura superior. Se usan tres químicos distintos y se consumen 1850 ml de agua.
- *Cobijas:* durante este tipo de lavado se limpian las cobijas usadas en las diferentes camas del hospital. Se realiza en tres etapas a temperatura ambiente con dos productos químicos y con un consumo de 1919 ml de agua.
- *Desmanche mancha amarilla y sangre:* durante este lavado se pretende quitar aquellas manchas de sangre y fluidos de la ropa. Se requieren de 4 etapas, dos a temperatura ambiente y dos a temperatura superior. Se usan 5 productos químicos y un consumo de 2400 ml de agua.
- *Ropa limpia desengome y costura:* se realiza para la ropa nueva y la ropa reparada de costura. Se realiza en 2 etapas a temperatura ambiente, con el uso de dos productos químicos y con un consumo de 1440 ml de agua.
- *Baja suciedad:* este lavado se le hace a aquella ropa que no presenta manchas aparentes. Se realiza en 3 etapas a temperatura ambiente. Se usan 3 productos químicos y se consumen 1750 ml de agua.

Todas las aguas de la lavandería son vertidas al alcantarillado público sin tratamientos previos.

### **1.1.5 Reúso de agua en la lavandería. Caso exitoso presentado en la Fundación Clínica Valle de Lili de Cali**

El proceso de lavado de ropas en la clínica se realiza en cinco etapas en las cuales se descargan alrededor de 3 m<sup>3</sup> por descarga, es así como la reutilización del agua que sale del enjuague final permitió alcanzar una reducción de 3m<sup>3</sup> por ciclo de lavado ya que estos son usados en los enjuagues iniciales del siguiente ciclo. (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

Complementariamente a esto en la búsqueda de mejorar y controlar los niveles de pH en los vertimientos de esta área se logró beneficios adicionales por ahorro de agua, con la implementación de dos medidas 1) Se unificaron dos etapas del ciclo de lavado (la segunda de lavado inicial y el blanqueo) lo que mejoró el pH y redujo la utilización de 3m<sup>3</sup> adicionales de agua, y adicionalmente la reducción en el tiempo del operario y mejoró significativamente el indicador de calidad en el área y 2) se cambió el pH del suavizante usado en la etapa final pasando de 9,8 a 7,2 y se unificó la adición de secuestrante y humectante lo que permitió ahorrar un enjuague adicional de 3m<sup>3</sup>. (Ver Figura 4). (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)



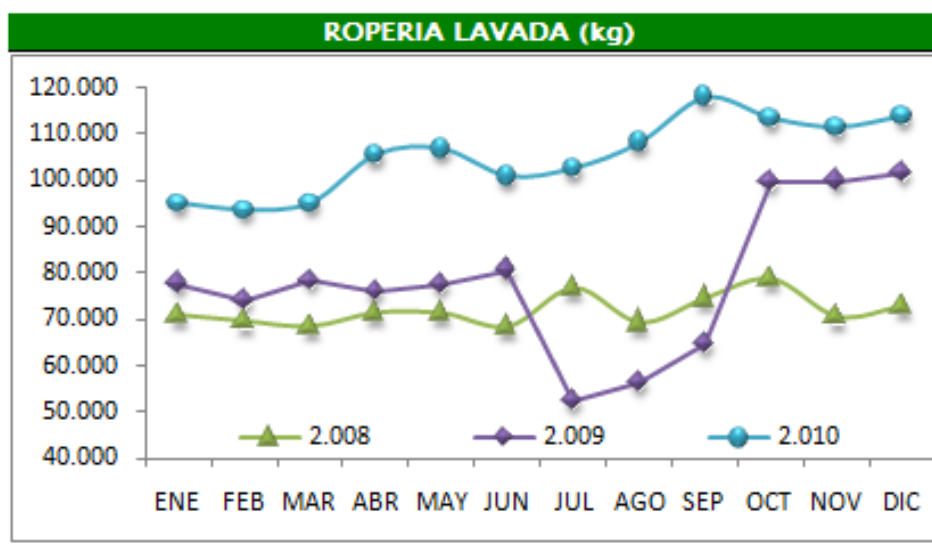
**Figura 4 Sistema de reúso de agua en lavandería**  
(CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

## Resultados

Estas medidas de mejoramiento en el área de la lavandería está acompañada de otras implementaciones tales como, la reducción en la cantidad de químicos usados pasando de 6 a 4 los cuales ahora son más amigables con el ambiente y permiten adicionalmente mejorar las condiciones y características en el vertimiento y una reducción en los costos de lavado. (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

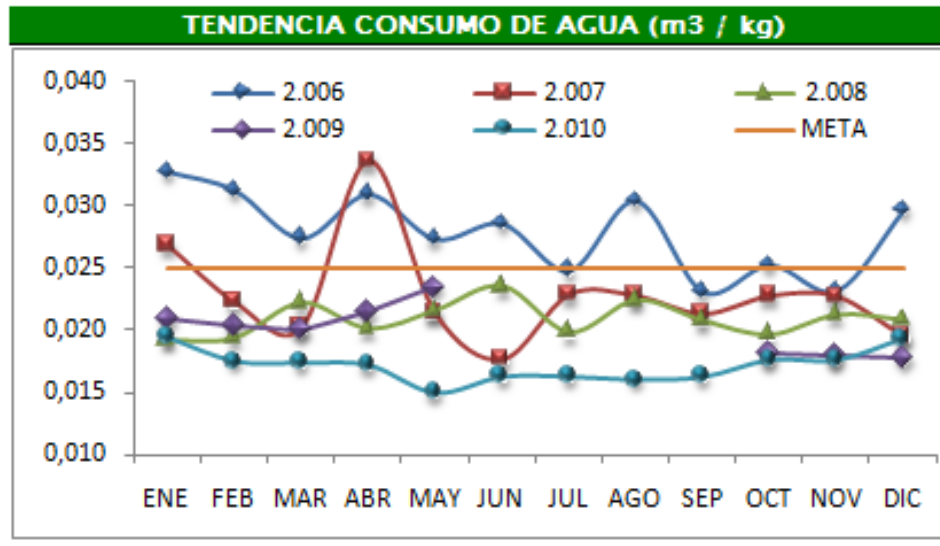
Todas las mejoras alcanzadas con el sistema de reúso de aguas en la lavandería a nivel ambiental, económico y productivo demuestran que las acciones implementadas para controlar los impactos ambientales a partir de estrategias de producción más limpia garantizan la sostenibilidad de los procesos y traen beneficios adicionales para las empresas. (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

Los niveles de consumo alcanzados en el área de lavandería gracias a todas las implementaciones descritas, se observan en la tendencia de los indicadores tales como ( $m^3/kg$  de ropa lavada) toda vez que se incrementó la cantidad de ropa a lavar en poco más de 30.000 kg/mes, estos indicadores se observan a continuación: (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)



**Gráfico 4. Incremento en la cantidad (kg) de ropa lavada.**  
(CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

En el gráfico 4 se observa que la cantidad de ropa a lavar en la Fundación se ve incrementada en más de 30.000 kg debido a la ampliación de la zona de hospitalización y cuidados intensivos que representan una mayor demanda de este servicio. (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)



**Gráfico 5. Tendencia en indicador consumo de agua en la lavandería**  
(CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

En el gráfico 5 es posible observar que si bien se presenta un incremento en la demanda (kg de ropa a lavar) el nivel de consumo de agua por kg de ropa es mucho menor a la meta establecida, lo que evidencia un uso más eficiente del recurso y soporta los logros alcanzados ya que para el año 2006 y 2007 los niveles se encontraban muy por encima de la meta establecida de 0,025 m<sup>3</sup>/kg y para los años 2008 y 2010 esta fue superada ampliamente, alcanzado niveles por debajo de 0,020 m<sup>3</sup>/kg. (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

Todas las implementaciones realizadas en el área de lavandería se resumen a continuación: (CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

AREA	LAVANDERIA
<b>IMPLEMENTACIONES</b>	<p>Las medidas adoptadas en el área de lavandería son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reuso de aguas de enjuague</li> <li>-Unificación de etapas en el ciclo de lavado</li> <li>- Uso de detergentes con pH cercano a 7</li> <li>- Reducción de cantidad de químicos usados en el proceso de lavado.</li> </ul>
<b>REDUCCIONES ALCANZADAS</b>	<p>Aprox 9 metros cúbicos por ciclo Reduccion en costos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ahorros por \$60.450.000 en compra de químicos</li> <li>- Ahorros de \$52.800.000 por consumo de agua</li> <li>- Reducción en demanda de agua por proceso</li> </ul>
<b>BENEFICIOS</b>	<p>Ambientales Económicos Productivos Competitivos</p>

**Tabla 1. Resumen de implementaciones y logros alcanzados en el área de lavandería.**

(CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA, 2010)

## **CAPITULO 2**

### **EVALUACION DE FACTIBILIDADES**

#### **2.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA**

La factibilidad técnica es aquella que establece una serie de decisiones a tomar respecto a: tecnología, tamaño y localización. Cada una de ellas responde a diferentes interrogantes: el tamaño al cuánto, la tecnología al cómo y la localización al dónde. (MIRANDA, 2007)

##### **2.1.1 Ubicación**

La lavandería del Hospital Pablo Tobón Uribe se encuentra localizada dentro las instalaciones de este, en el sótano numero 2.

Las lavadoras se encuentra separadas del área limpia donde se secan, planchan y doblan las ropas, por un muro de protección sanitaria.

Cada una de las lavadoras vierte sus aguas a un canal que las recoge todas y las lleva por medio de una tubería a un pequeño pozo ubicado a las afueras de la lavandería. Posteriormente son evacuadas al alcantarillado público de la ciudad.

La lavandería cuenta con tres lavadoras con una capacidad de 110 kg cada una. Para los procesos de lavado, de acuerdo al tipo de ropa a lavar (alta suciedad, baja suciedad, cobijas y pijamas) se tienen establecidas diferentes cantidades de agua y de jabón siendo la de alta suciedad la que más utiliza (4 m<sup>3</sup> de agua y 0.0024 m<sup>3</sup> de jabón) a lo largo de todo el ciclo de lavado en una lavadora.

Para efectos del análisis de factibilidad solo se tendrán en cuenta las aguas vertidas en el penúltimo ciclo del lavado de alta suciedad y que corresponde a los vertidos generados luego del blanqueo (1,25 m<sup>3</sup> de agua por lavadora).



Estas aguas se recogen para ser ingresadas a los dos primeros enjuagues del lavado de alta suciedad o a un solo enjuague del resto de lavados.

Posterior al ingreso al primer enjuague, las aguas son vertidas al alcantarillado y las aguas de reúso corresponden a las que ingresan después del blanqueo/desinfección de cada uno de los tipos de suciedad. (Figura 5)

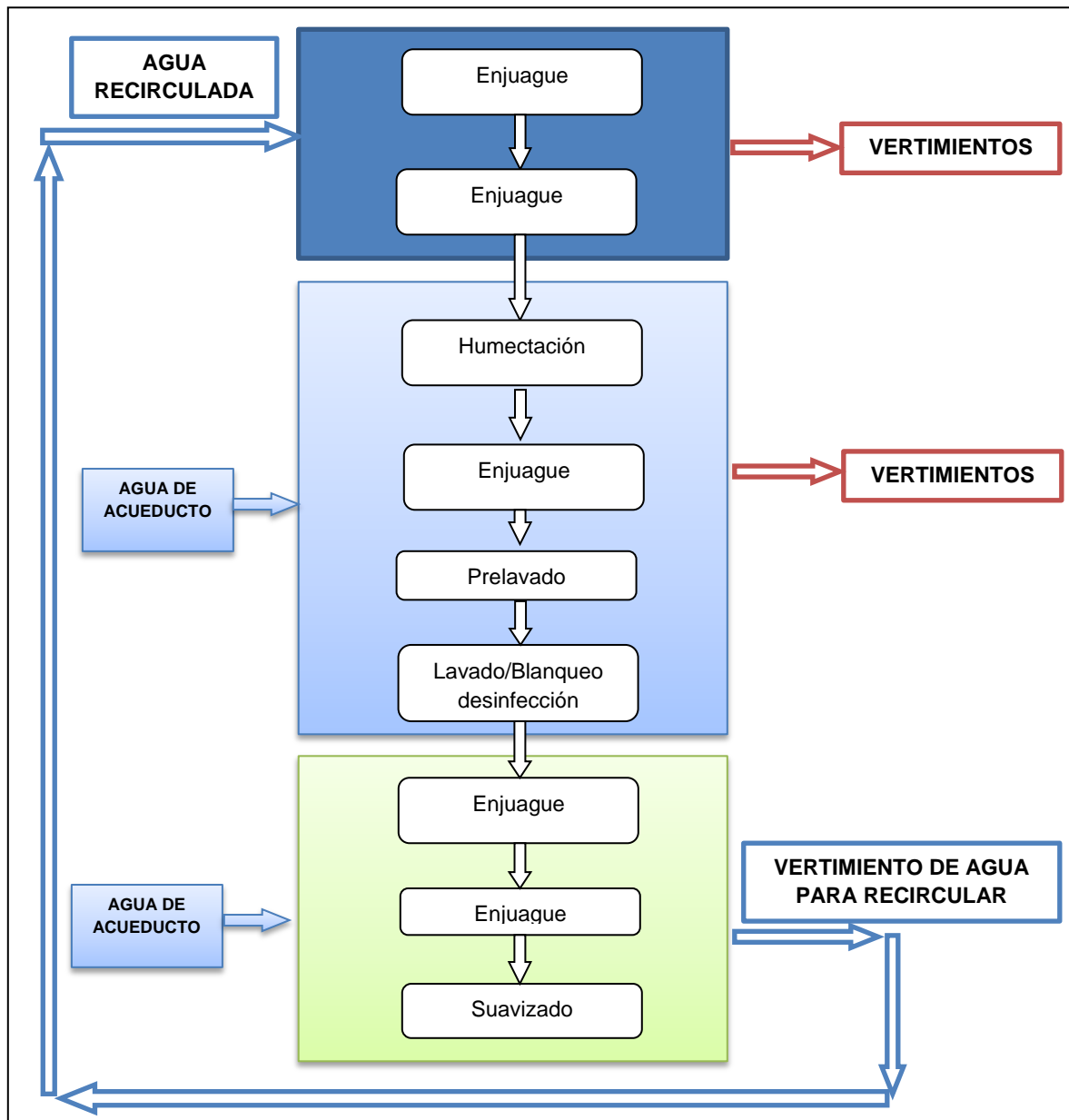


Figura 5. Propuesta de reúso para el Hospital Pablo Tobón Uribe

(Elaboración propia)

Garantizando el reúso del agua vertida por alta suciedad, se puede concluir que es posible tratar el resto de aguas de los otros tipos de lavado.

La cantidad de lavados de alta suciedad que se realizan en el día son 21 correspondientes a 2100 kg diarios de ropa.

### **2.1.2 Calidad del Agua**

La calidad del agua utilizada para el proceso de lavado de la ropa interfiere en el resultado final, por lo que su análisis es esencial para la planificación del servicio. (SAÚDE, 2009)

Las características del efluente de lavandería son variables porque dependen del tipo de suciedad presente en la ropa, los productos químicos utilizados en el lavado y el agua usada. (SANCHES ANDRADE, 2008)

Para describir la calidad de una corriente o una fuente del agua se requieren criterios o parámetros de calidad, los cuales se clasifican en: hidrológicos, físicos, químicos y biológicos. En la Tabla 2 se resumen los parámetros que se encuentran en cada clasificación. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Se debe tener en cuenta que los parámetros físicos no son índices absolutos de contaminación y sus valores normales pueden variar considerablemente y, por lo tanto, en cada caso se mide la desviación con respecto a la norma. Estos también se denominan como parámetros organolépticos, es decir que se detectan en primera instancia por los órganos de los sentidos. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

CLASIFICACION	PARAMETROS	
Químicos	No específicos	Alcalinidad pH Conductividad Dureza Oxígeno Disuelto (OD)
	Específicos	Nitrógeno (NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> ) Cloruros Detergentes Fenoles Pesticidas Material Orgánico oxidable
Físicos	Color Temperatura Turbiedad Olor Sabor	
Hidrológicos	Caudal Velocidad Mezcla	
Biológicos	Patógenos	Coliformes fecales Virus Vibro Cólera
	No patógenos	Población mesófila Zooplanton Algas

**Tabla 2. Clasificación de los parámetros indicadores de la calidad del agua.**  
(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

En la Tabla 3 se indican algunas de las sustancias presentes en el agua residual cuyo vertimiento puede originar problemas ambientales. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

COMPONENTE	EFEECTO	CONCENTRACIÓN CRÍTICA (mg/l)
Sólidos suspendidos	Pueden provocar deposiciones de sólidos o enturbiamiento	Variable

<b>COMPONENTE</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>CONCENTRACIÓN CRÍTICA (mg/l)</b>
Materia orgánica biodegradable	Pueden agotar la reserva de oxígeno disponible.	Variable
Contaminantes Prioritarios	Tóxicos para el hombre, carcinógenos	Varía en función del constituyente
	Tóxicos para el entorno acuático	Varía en función de la presencia en la columna de agua, masa biológica o sedimento
Compuestos orgánicos volátiles	Tóxicos para el hombre, carcinógenos, forman oxidantes fotoquímicos (smog)	Varía en función del constituyente
<b>Nutrientes</b>		
Amoniaco	Aumenta la demanda de cloro. Puede convertirse a nitratos y agotar los recursos de oxígeno. Con el fósforo puede llevar al crecimiento de algas.	Cualquier cantidad
Nitrato	Tóxico para los peces.	Variable según el pH y la temperatura.
	Estimula el crecimiento acuático y de las algas.	0.3 para lagos con aguas tranquilas.
	Puede causar metahemoglobinemia en los niños.	45
Fosfato	Estimula el crecimiento acuático y de las algas.	0.3 para lagos con aguas tranquilas.
	Interfiere con la coagulación	0.2 – 0.4
	Interfiere con el Ablandamiento cal-sosa.	0.3
<b>Otros Compuestos Orgánicos</b>		
Agentes tensoactivos	Provocan espumas y pueden interferir con la coagulación	1 - 3

COMPONENTE	EFEECTO	CONCENTRACIÓN CRÍTICA (mg/l)
Otros Compuestos Inorgánicos		
Calcio y Magnesio	Aumenta la dureza y los sólidos totales disueltos	
Cloruro	Imparte sabor salado	250
	Interfiere en los usos agrícolas	75 - 200
Sulfatos	Acción catártica	600 - 1000

**Tabla 3. Componentes químicos típicos que pueden encontrarse en el agua residual y sus efectos.**

(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Según Van Gils citado en (SANCHES ANDRADE, 2008) los parámetros recomendados internacionalmente para la calidad del agua en la lavandería hospitalaria se muestran en la tabla 4

PARAMETROS	MAXIMOS PERMITIDOS
Alcalinidad (mg/l)	200
Dureza (mg/l)	100
Turbidez	5
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	<500
Sólidos Suspendidos	15 mg/l
Sulfatos (mg/l)	<250
Hierro (mg/l)	0,3
Manganeso (mg/l)	0,05
pH	Entre 4 y 9
Color	15
Aspecto	Limpia y sin material en suspensión

**Tabla 4 Calidad de agua requerida para la lavandería hospitalaria (SANCHES ANDRADE, 2008)**

Adicionalmente esta agua debe estar libre de organismos patógenos tales como bacterias coliformes. (SANCHES ANDRADE, 2008)

El agua usada en la lavandería del Hospital Pablo Tobón Uribe es tomada del acueducto y son proveídas por las Empresas Publicas de Medellín.

En la tabla 5 se muestra el resultado de las pruebas realizadas al agua de Empresas Publicas de Medellín en el mes de Junio del 2012.

<b>PARAMETRO FISICO - QUIMICO</b>	<b>RESULTADO PROMEDIO</b>
<b>Alcalinidad</b>	24,9
<b>Cloro residual</b>	0,76
<b>Cloruros</b>	6,2
<b>Color</b>	3
<b>Conductividad</b>	76
<b>Dureza Total</b>	29,9
<b>Nitratos</b>	2,1
<b>Nitritos</b>	<0,010
<b>Sulfatos</b>	6
<b>Temperatura</b>	19,6
<b>Turbiedad</b>	0,26
<b>pH</b>	7,2
<b>Aluminio</b>	0,0399
<b>Hierro</b>	0,034
<b>Coliformes Totales</b>	0
<b>E-Coli</b>	0

**Tabla 5. Parámetros de calidad del agua EPM**

(EPM, 2012)

En la tabla 6 se presentan las condiciones del agua de vertimiento de las lavadoras del hospital Pablo Tobón Uribe

PARAMETRO	ROPA DE ALTA SUCIEDAD
pH	10.01
COLOR RESIDUAL LIBRE (mg/L)	0
SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L)	37
SOLIDOS SEDIMENTABLES (mL/l/h)	< 0.1
SOLIDOS TOTALES (mg/L)	458
D.B.O. <sub>5</sub> (mg/L)	341.47
D.Q.O. (mg/L)	509.04
GRASAS Y/O ACEITES (mg/L)	31.6
DETERGENTES(mg/L)	12.41
ALCALINIDAD TOTAL (mg/L)	99.5
DUREZA TOTAL (mg/L)	15
HIERRO TOTAL (mg/L)	0.800
HIERRO SOLUBLE (mg/L)	0.695
FOSFORO TOTAL (mg/L)	4.63
MERCURIO(mg/L)	< 0.023

**Tabla 6. Parámetros de calidad del agua vertida en el lavado de Alta suciedad en el hospital Pablo Tobón Uribe**

### 2.1.3 Algunas tecnologías de tratamiento

El tratamiento del agua, previo a su vertido en el medio ambiente, tiene por objeto eliminar los contaminantes de la manera más económica posible, los principales problemas aparecen con los vertimientos de efluentes industriales, que deterioran gravemente el medio ambiente debido a la alta concentración de contaminantes y a la peligrosidad de cada uno de ellos. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Los contaminantes presentes en aguas residuales pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y/o biológicos. Los métodos individuales de tratamiento de aguas suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. Los métodos de tratamiento en los que

predominan la acción de fuerzas físicas se conocen como operaciones unitarias, entre estas se encuentran el desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración. Los métodos en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios y fenómenos como la precipitación, adsorción y la desinfección son ejemplos de procesos convencionales en el tratamiento de aguas. Los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se conocen como procesos biológicos unitarios. (TCHOBANOGLIOUS, 1996)

Los procesos y operaciones unitarias se combinan y complementan para dar lugar a cuatro niveles de tratamiento de las aguas, estos niveles son: pretratamiento, tratamientos primarios, tratamientos secundarios y tratamientos terciarios. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Los pretratamientos son los procesos de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. (TCHOBANOGLIOUS, 1996). Consiste en la eliminación de material grueso, arenoso y flotante (grasas y aceites) y en la modificación de la distribución del tamaño de las partículas presentes en el agua residual. Sus objetivos son: acondicionar el agua residual para ser tratada en las siguientes etapas de proceso, remover materiales que puedan interferir con los equipos y procesos de tratamiento de aguas abajo, y reducir la acumulación de materiales en procesos aguas abajo. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Los tratamientos primarios son los que eliminan una fracción de los sólidos suspendidos, coloides y de la materia orgánica del agua residual. Se efectúan previos a los tratamientos secundarios y no remueve microorganismos ni material soluble. (TCHOBANOGLIOUS, 1996)



Cuando las aguas residuales han sido previamente tratadas mediante métodos preliminares y primarios (físicos o físico-químicos) y no se ha logrado eliminar un gran porcentaje de la contaminación orgánica, se requiere someter estas aguas a tratamientos en donde la acción de los microorganismos transforma la materia orgánica biodegradable de los residuos en material estable e inofensivo a las fuentes receptoras. Los tratamientos secundarios son la combinación de diferentes procesos empleados para la eliminación de sólidos en suspensión y de compuestos orgánicos biodegradables que incluyen tratamientos biológicos. (TCHOBANOGLOUS, 1996)

Los tratamientos terciarios son los procesos encargados de conseguir una calidad excepcional en el efluente, por tanto se aplican en casos especiales. Las aguas que han sido tratadas con tratamientos terciarios pueden ser utilizadas en gran variedad de fines entre los que se encuentra el reúso. Es el nivel de tratamiento necesario para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención como nutrientes, compuestos tóxicos, excesos de materia orgánica o de sólidos suspendidos, iones y sólidos disueltos. (TCHOBANOGLOUS, 1996)

Algunas de las Operaciones o procesos unitarios según el nivel de tratamiento del agua se citan en la Tabla 7. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Tipo de tratamiento	Operaciones o procesos unitarios
Preliminares	Dilaceración, desbaste, filtración, flotación, remoción por gravedad, tanque Imhoff, filtración por membrana, remoción de grasas y aceites, tamizado grueso y fino, y microtamizado
Primarios	Tamizado, sedimentación primaria.
Secundarios	Lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunaje, sedimentación secundaria, desinfección
Terciarios	Coagulación química, floculación, sedimentación seguida de filtración y carbón activado. Intercambio iónico, osmosis inversa, electrocoagulación.

**Tabla 7. Operaciones o procesos unitarios según el nivel de tratamiento de aguas**  
(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

Algunos de los criterios importantes para la selección de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales se observan en la Tabla 8. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

1) El sistema debe ser simple en su operación, mantenimiento y control, ya que una buena operación no debe depender de la presencia de operadores e ingenieros experimentados.	6) La flexibilidad del proceso debe ser alta con respecto a la escala a la cual es aplicada, debe prepararse para las posibilidades de ampliación y mejoramiento de la eficiencia.
2) El sistema no debe provocar malos olores y problemas de salud.	7) El requerimiento de área debe ser bajo, en especial cuando no está disponible y/o el precio es alto.
3) El número de etapas requeridas para el proceso deben ser las mínimas posibles.	8) El sistema debe ofrecer buenas posibilidades para recuperar subproductos útiles en irrigación y fertilización.
4) El sistema deber ser estable a interrupciones en la alimentación.	9) Es recomendable disponer de la capacitación suficiente en el manejo del sistema.
5) El tiempo de vida del sistema debe ser largo.	10) El sistema no debe tener ningún problema con la disposición de lodos.

**Tabla 8. Criterios para seleccionar sistemas de tratamiento de aguas residuales**

(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

En la Tabla 9 aparecen los contaminantes importantes de las aguas residuales junto con las operaciones y procesos unitarios que se pueden emplear para eliminarlos. (ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

CONTAMINANTE	SISTEMA DE TRATAMIENTO, OPERACIÓN Ó PROCESO UNITARIO
Sólidos en suspensión	Desbaste y dilaceración, desarenado, sedimentación, filtración, flotación, adición de polímeros, sistemas naturales (tratamiento de evacuación al terreno), coagulación/sedimentación.
Materia orgánica Biodegradable	Variantes de fangos activados, película fija: filtros percoladores y biodiscos, variantes de lagunaje, filtración intermitente en arena, sistemas físico - químicos, sistemas naturaleza
Compuestos orgánicos volátiles	Arrastre por aire, tratamiento de gases, absorción en carbón.
Patógenos	Cloración, hipócloración, cloruro de bromo, ozonación, radiación UV, sistemas naturales
<b>Nutrientes</b>	
Nitrógeno	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación, variantes de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación, arrastre de amoniaco, intercambio iónico, coloración al breakpoint, sistemas naturales
Fosforo	Adición de sales metálicas, coagulación y sedimentación con cal, eliminación biológica del fósforo, eliminación biológica – química del fósforo, sistemas naturales.
Nitrógeno y fosforo	Eliminación biológica de nutrientes
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón, ozonación terciaria, sistemas naturales
Metales pesados	Precipitación química, intercambio iónico, sistemas de tratamiento por evacuación al terreno.
Sólidos disueltos orgánicos	Intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis

**Tabla 9. Operaciones y procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de los contaminantes presentes en el agua residual.**

(ARISTIZABAL & BERMUDEZ, 2007)

El sistema de tratamiento de aguas residuales de lavandería más ampliamente utilizado es la combinación de los métodos convencionales tales como la precipitación / coagulación y floculación, sedimentación y filtración. La adsorción por carbón activado después del proceso de floculación puede mejorar el tratamiento. (EPA, 2000)

El proceso de filtros de membrana ofrece varias ventajas en el tratamiento de los efluentes, incluyendo la aplicación de normas más estrictas para la disposición de efluentes. (TURK, PETRINIC, & SIMONIC, 2005)

El principal problema que implica la aplicación de filtros de membrana es la acumulación de componentes en los poros reduciendo el tiempo de filtración. Para el uso de las membranas se requiere un tratamiento previo para la eliminación de estos componentes y un proceso de limpieza para membranas bien desarrollado para evitar la disminución de la vida útil de la membrana. (TURK, PETRINIC, & SIMONIC, 2005)

(TURK, PETRINIC, & SIMONIC, 2005) Desarrolló un estudio que compara los costes y eficiencias entre los métodos convencionales de tratamiento y el uso de filtración de membrana (membrana de ultrafiltración de cerámica como una etapa de pretratamiento para el uso de la membrana de ósmosis inversa). El uso no sólo elimina los tensoactivos aniónicos de la coagulación del efluente, hay una eliminación de DQO del 36% y DBO 51%.

La Tabla 10 muestra los valores de los contaminantes encontrados en el efluente de una lavandería industrial, así como los valores de estos después de filtración y adsorción. (TURK, PETRINIC, & SIMONIC, 2005)

PARAMETROS	EFLUENTE	DESPUES DE LA COAGULACION	DESPUES DE LA COAGULACION / ADSORCION
Temperatura °C	62	22	22
pH	9,6	7,9	6,8
Solidos Suspendidos (mg/l)	35	<5	<5
Solidos Sedimentables (mg/l)	2	<0,5	<0,5
Cloro (mg/l)	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrógeno total (mg/l)	2,75	2,6	2,6
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	2,45	2,4	2,3
Fosforo total (mg/l)	9,9	1	1
DQO (MG O <sub>2</sub> /l)	280	180	20
DBO (MG O <sub>2</sub> /l)	195	100	10
Aceites (mg/l)	4,8	2,5	<1
AOX (mg/l)	0,12	0,12	<0,1
Surfactantes aniónicos (mg/l)	10,1	10	<0,5

**Tabla 10. Determinación de parámetros de un efluente antes y después de la coagulación**

**(TURK, PETRINIC, & SIMONIC, 2005)**

Después del tratamiento con adsorción, los valores de DQO y DBO fueron respectivamente de 93 y 95%.

En cuanto al uso de la membrana filtrante, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 11. (TURK, PETRINIC, & SIMONIC, 2005)

PARAMETROS	EFLUENTE	ULTRAFILTRACIÓN	ÓSMOSIS INVERSA
Temperatura °C	62	53.8	27.8
pH	9,6	8.3	7.62
Solidos Suspendidos (mg/l)	35	18	8
Solidos Sedimentables (mg/l)	2	<0.5	<0.5
Cloro (mg/l)	<0,1	<0.1	<0.1
Nitrógeno total (mg/l)	2,75	0.03	0.03

PARAMETROS	EFLUENTE	ULTRAFILTRACIÓN	ÓSMOSIS INVERSA
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	2,45	0.03	0.03
Fosforo total (mg/l)	9,9	0.46	0.14
DQO (MG O <sub>2</sub> /l)	280	130	3
DBO (MG O <sub>2</sub> /l)	195	86	1.5
Aceites (mg/l)	4,8	4.4	1.2
AOX (mg/l)	0,12	0.11	0.08
Surfactantes aniónicos (mg/l)	10,1	7.20	0.91

**Tabla 11. Determinación de parámetros de un efluente antes y después del tratamiento con membranas filtrantes.**

(TURK, PETRINIC, & SIMONIC, 2005)

También, de acuerdo a (BRASIL 1993) citado en (SANCHES ANDRADE, 2008), los procesos comúnmente utilizados para la reducción o eliminación de la turbidez y el color del agua se hacen así: el uso de filtración, que consiste en la eliminación de partículas coloidales en suspensión y microorganismos, que fluyen a través de un medio poroso - por lo general una capa de arena; la coagulación y floculación filtración - como ya se ha mencionado es un proceso adecuado para la eliminación de la mayor parte de las partículas suspendidas en el agua. En este caso el tratamiento de agua es mediante la adición de productos químicos (coagulación), agitando durante aglutinación de las partículas (floculación), por diferencia de peso separación (sedimentación o flotación) y filtración que se hace generalmente en filtros de arena, para eliminación de las partículas que no se retiraron en los pasos anteriores.

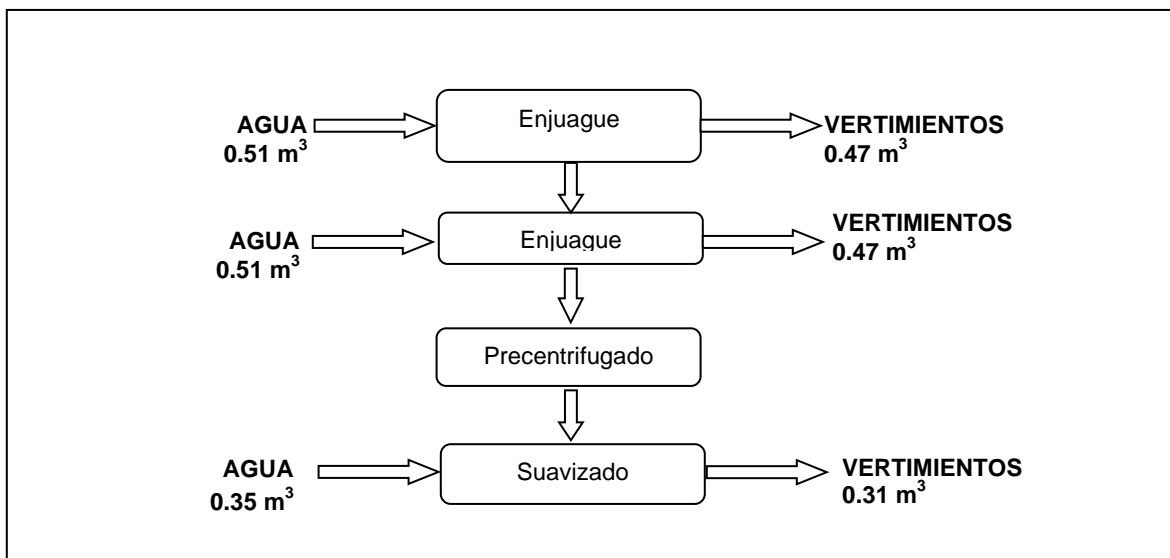
Los métodos electroquímicos de tratamiento de aguas residuales como la electroflotación, electrodecantación y la electrocoagulación (DANESHVAR, DJAFARZADEH, & OLADEGARAGOZE, 2006), involucran el uso de una celda electrolítica y un par de electrodos metálicos a través de los cuales se hace circular una corriente eléctrica. (MERCADO MARTINEZ, 2005) Sistemas electroquímicos pequeños son viables y en vez de usar reactivos químicos y

microorganismos, el sistema emplea electrones para realizar el tratamiento. Estos métodos utilizan una instrumentación robusta y compacta, fácil de conseguir que ofrezcan la posibilidad de una fácil distribución y potencialmente pueden reemplazar procesos sofisticados, ya que requieren contenedores de poca capacidad. Entre las ventajas de los métodos electroquímicos se encuentran los beneficios ambientales, de compatibilidad, versatilidad, eficiencia de energía, seguridad, selectividad, facilidad de automatización del proceso y bajos costos. Los métodos electroquímicos han sido estudiados pero pocos autores se han enfocado en las variables que son cruciales para el mejoramiento del desempeño de estas aplicaciones. (MOLLAH, 2004)

De todas las técnicas electroquímicas conocidas se tiene mayor interés en emplear la electrocoagulación como método de tratamiento de aguas residuales que contengan metales pesados, residuos de grasa, tintes textiles, partículas suspendidas, suspensiones acuosas de partículas ultrafinas, nitratos, fenoles, arsénico y contaminantes orgánicos, y se emplea para potabilizar agua. (MOLLAH, 2004)

#### **2.1.4 Calculo de reúso de agua**

La cantidad máxima de agua para reúso se calcula conociendo el peso de la ropa antes y después del proceso en donde se va a tomar el agua para el reúso y que de acuerdo al trabajo se determino que la ropa ganó un 40% de su peso por lo que se asume que hay una perdida de  $0,04 \text{ m}^3$  de agua (Figura 6).



**Figura 6. Balance de agua del lavado de alta suciedad en una lavadora**  
(Elaboración propia)

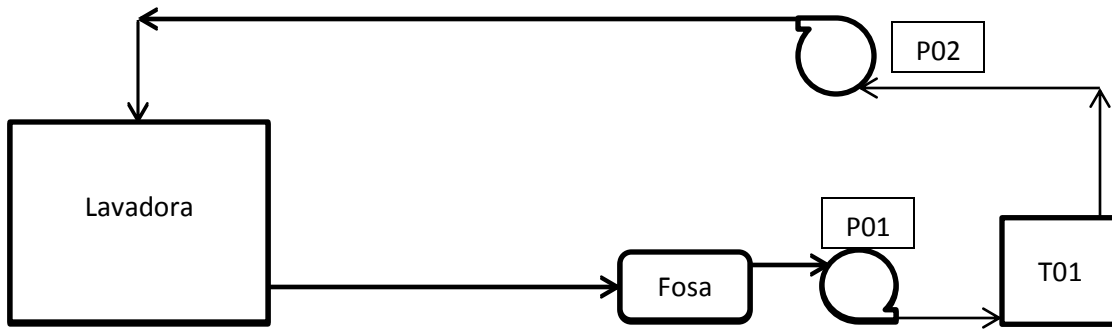
Con el reúso de agua, teniendo en cuenta que en la lavandería del Hospital Pablo Tobón Uribe se llevan a cabo un promedio de 623 lavados de alta suciedad/mes, 378 lavados de baja suciedad/mes, 77 lavados de cobijas/mes y 49 lavados de pijamas/mes, para un total de 1127 lavados/mes.

Con este número de lavados se recogerían  $1344.21 \text{ m}^3$  de agua al mes los cuales ingresarían a los primeros enjuagues de cada lavado.

Teniendo en cuenta los parámetros del vertimiento del agua del Hospital y los parámetros que sugiere en la literatura, se considera que no es necesario realizar una inversión en un tratamiento a las aguas mas allá de una remoción de los solidos que se puedan presentar por medio de un filtro o una rejilla.

Los equipos requeridos para el reúso de agua consistirían entonces en un tanque para el almacenamiento del agua, tres bombas y tubería. (Figura 7)





**Figura 7. Esquema de reúso de agua**  
(Elaboración propia)

EQUIPO	REFERENCIA	DESCRIPCION
Bomba	P01	Bomba de 0,5 HP y caudal máximo de 80 l/min que me permite llevar el agua desde una fosa hasta el tanque de almacenamiento
Bomba	P02	Bomba de 0,5 HP y caudal máximo de 80 l/min que me permite sacar el agua del tanque y llevarla de nuevo a la lavadora.
Tanque	T01	Tanque de capacidad de 10 m <sup>3</sup> para el almacenamiento y filtración del agua.

**Tabla 12. Descripción de los equipos para el reúso del agua**  
(Elaboración propia)

## 2.2 FACTIBILIDAD AMBIENTAL

Para un campo de refugiados de 5.000 personas desplazadas (que incluye 2.000 niños en edad escolar), 25 personas de la agencia de auxilio y 75 vacas se requieren aproximadamente 150.000 litros de agua diarios. (OMS, Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico, 2009)

Con el aprovechamiento 1344,21 m<sup>3</sup> de agua mensuales (1'344.210 litros/mes), es decir, 43.361 litros diarios, en 3 días se podría abastecer a un campo de

refugiados con las condiciones expuestas anteriormente, por lo que se considera de vital importancia el llevar a cabo el reúso de esta agua.

### 2.2.1 Huella Hídrica Azul

La huella hídrica azul es un indicador de uso consuntivo de agua llamada azul, es decir, agua dulce de superficie o subterránea. “Uso consuntivo del agua” se refiere a uno de los cuatro casos siguientes (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009):

- El agua se evapora;
- El agua se incorpora a un producto;
- El agua no vuelve a la misma zona de flujo, por ejemplo, es devuelta a otra zona de captación o al mar;
- El agua no vuelve en el mismo período, por ejemplo, si se retira en un periodo seco y devuelve en un período de lluvias.

El primer componente, la evaporación, es generalmente el más importante. Por lo tanto se verá a menudo que los usos consuntivos se equiparan con la evaporación, pero los otros tres componentes deben ser incluidos cuando sea pertinente. Todo lo relacionado con la producción cuenta como evaporación, incluyendo el agua que se evapora durante el almacenamiento de agua (por ejemplo, en depósitos de agua artificiales), transporte (por ejemplo, en canales abiertos), el tratamiento (por ejemplo, la evaporación del agua caliente que no se recoge) y la recogida y eliminación (por ejemplo, de canales de drenaje y de plantas de tratamiento de aguas residuales). (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009)

La huella hídrica azul en una fase del proceso se calcula así:

$$HH_{proc} = \text{Agua evaporada} + \text{agua incorporada} + \text{agua perdida}$$

El último componente se refiere a la parte devuelta a la cuenca que no está disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca hidrográfica en el mismo plazo de retirada, ya sea porque se devuelve a otro sistema de captación (o se vierte al mar) o porque se devuelva en otro período de tiempo. (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009)

La unidad de huella hídrica azul de un proceso es el volumen de agua por unidad de tiempo, por ejemplo, por día, mes o año. Cuando se divide por la cantidad de producto que se deriva del proceso, la huella hídrica de proceso también se puede expresar en términos de volumen de agua por unidad de producto. (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009)

Cada componente de la huella hídrica de proceso azul se puede medir, directa o indirectamente. Es generalmente conocido la cantidad de agua que se agrega para formar parte del producto: aunque no se suele medir directamente cuánta agua se evapora durante el almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación, pero puede deducirse por la diferencia entre la abstracción y los volúmenes de disposición final. (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009)

El reciclaje y reutilización del agua se utilizan a menudo como dos términos intercambiables. Se define "reciclaje del agua", especialmente como la reutilización in situ del agua para la misma finalidad y "la reutilización del agua" como la reutilización de agua en otro lugar, posiblemente para otro propósito. En el caso del reciclaje, podemos hacer una distinción adicional entre el reciclado de aguas residuales (por tratamiento para su reutilización) y el reciclado de agua evaporada (por condensación de vapor de agua para su reutilización). El reciclaje y la reutilización del agua pueden ser útiles para reducir la huella hídrica azul de un proceso sólo cuando se reduzca eficazmente el uso del agua de consumo. El reciclaje y reutilización del agua también puede ser útil para reducir la huella hídrica gris de los usuarios del agua. (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009)

La huella hídrica de un producto se puede calcular de dos formas alternativas: con el enfoque de la suma de la cadena o el enfoque acumulativo paso a paso. El primero se puede aplicar sólo para productos concretos; el segundo es el enfoque genérico. (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009)

En el sistema de producción simple, la huella hídrica de producto p (volumen / masa) es igual a la suma de las aguas de proceso pertinentes huellas dividido por la cantidad de producción del producto p (HOEKSTRA, CHAPAGAIN, ALDAYA, & MEKONNEN, 2009)

$$HH_{prod}[P] = \frac{\sum_{S=1}^K HH_{proc}[S]}{P[P]}$$

En el que  $WF_{proc}[s]$  es la huella hídrica de proceso de paso s (volumen / tiempo), y  $P [p]$ , la cantidad de producción de producto p (masa / tiempo).

## 2.2.2 Calculo de la huella Hídrica

A continuación se calcula la huella hídrica del producto final (ropa lavada) con base en los diferentes tipos de lavados que se presentan. El agua evaporada es despreciable por lo que no se tendrá en cuenta en los cálculos.

- Huella hídrica azul para ropa de alta suciedad:

$$HH_{alta\ suciedad} = 0.36m^3 + 3.73m^3$$

$$HH_{alta\ suciedad} = 4.09m^3 * 627 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{alta\ suciedad} = 2564.43 m^3 / mes$$

- Huella hídrica azul para ropa de baja suciedad:

$$HH_{baja\ suciedad} = 0.2m^3 + 2.02m^3$$

$$HH_{baja\ sualidad} = 2.22m^3 * 378 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{alta\ sualidad} = 839.16 m^3/mes$$

- Huella hídrica azul para pijamas:

$$HH_{pijamas} = 0.2m^3 + 2.18m^3$$

$$HH_{pijamas} = 2.38m^3 * 49 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{pijamas} = 116.62 m^3/mes$$

- Huella hídrica azul para cobijas:

$$HH_{cobijas} = 0.2m^3 + 2.26m^3$$

$$HH_{cobijas} = 2.46m^3 * 77 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{cobijas} = 189.42 m^3/mes$$

Ahora:

$$HH_{prod}[P] = \frac{2564.43 m^3/mes + 839.16 m^3/mes + 116.62 m^3/mes + 189.42 m^3/mes}{113805 Kg\ ropa/mes}$$

$$HH_{prod}[P] = \frac{3709.63 m^3/mes}{113805 Kg\ ropa/mes}$$

$$HH_{prod}[P] = 0.031 m^3/Kg\ ropa = 33\ litros/Kg\ ropa/mes$$

Ahora se calcula la huella hídrica para el proceso sin tener en cuenta la primera etapa que corresponde al agua que se va a ingresar por reúso.

- Huella hídrica azul para ropa de alta suciedad:

$$HH_{alta\ suciedad} = 0.28m^3 + 2.79m^3$$

$$HH_{alta\ suciedad} = 3.07m^3 * 627 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{alta\ suciedad} = 1924.89 m^3/mes$$

- Huella hídrica azul para ropa de baja suciedad:

$$HH_{baja\ suciedad} = 0.16m^3 + 1.55m^3$$

$$HH_{baja\ suciedad} = 1.71m^3 * 378 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{baja\ suciedad} = 646.38 m^3/mes$$

- Huella hídrica azul para pijamas:

$$HH_{pijamas} = 0.16m^3 + 1.72m^3$$

$$HH_{pijamas} = 1.88m^3 * 49 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{pijamas} = 92.12 m^3/mes$$

- Huella hídrica azul para cobijas (ultima etapa):

$$HH_{cobijas} = 0.16m^3 + 1.78m^3$$

$$HH_{cobijas} = 1.94m^3 * 77 \frac{lavados}{mes}$$

$$HH_{cobijas} = 149.38 m^3/mes$$

Ahora:

$$HH_{prod}[P] = \frac{1924.89 \text{ m}^3/\text{mes} + 646.38 \text{ m}^3/\text{mes} + 92.12 \text{ m}^3/\text{mes} + 149.38 \text{ m}^3/\text{mes}}{113805 \text{ Kg ropa}/\text{mes}}$$

$$HH_{prod}[P] = \frac{2812.77 \text{ m}^3/\text{mes}}{113805 \text{ Kg ropa}/\text{mes}}$$

$$HH_{prod}[P] = 0.025 \text{ m}^3/\text{Kg ropa} = 25 \text{ litros}/\text{Kg ropa}/\text{mes}$$

Con el reúso de agua del último lavado en el primer enjuague se logra una disminución de la huella hídrica de 8 litros por Kg de ropa lavada al mes para un total de 910.440 litros de agua/mensuales (total de ropa lavada).

La huella hídrica de Colombia es de 812 m<sup>3</sup> al año por persona (812.000 litros de agua). (WWF, Soy ECOlombiano, & El Espectador, 2010), por lo que podemos concluir que el ahorro de agua en la lavandería en un mes equivale a lo que gasta una persona en Colombia en un año.

### 2.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Se debe desarrollar un estudio detallado para que las inversiones se utilicen de manera correcta y la empresa tenga el rendimiento esperado. El estudio debe abordar alternativas de sistemas de aprovechamiento y reúso de agua para determinar la cantidad de agua generada (oferta) elegida y las cantidad de agua destinadas para las actividades finales (demanda). Tomándose como base esos valores, deben ser dimensionados los equipos, los volúmenes de reserva

necesarios, los posibles volúmenes adicionales de agua y las tecnologías de tratamiento elegidas. (SANCHES ANDRADE, 2008)

Aunque los objetivos de optimizar el uso del agua y la reducción de residuos están directamente relacionados con la valorización de los recursos naturales y, en consecuencia, reducir los costos para que estos beneficios puedan ser alcanzados, es necesario realizar una inversión inicial. (SANCHES ANDRADE, 2008)

En la actualidad, es casi imposible imaginar el desarrollo de cualquier actividad sin tener en cuenta los aspectos económicos asociados. La decisión final dependerá de un equilibrio entre los costos asociados a la actividad de que se trate y los beneficios resultantes. En la mayoría de los casos, la aplicación de una medida sólo se realiza cuando los beneficios superan, o al menos son iguales a los costes relacionados con el despliegue. (SANCHES ANDRADE, 2008)

### **2.3.1 Cálculo de la rentabilidad**

Una estimación inicial sobre la cuestión financiera se debe lograr a través de un equilibrio entre los costos de construcción, operación y mantenimiento contra los beneficios resultantes. En la mayoría de los casos, la aplicación de una medida sólo se realiza cuando los beneficios superan, o al menos son iguales a los costes relacionados con la implementación. (SANCHES ANDRADE, 2008)

Los costes de funcionamiento del sistema incluyen el procesamiento de nóminas y distribución de energía eléctrica, productos químicos y el mantenimiento de la reparación y sustitución de piezas. Los costes de personal dependen del tamaño y la complejidad de la instalación. (SANCHES ANDRADE, 2008)

En la tabla 13 se presentan los equipos básicos que se necesitan para el reúso del agua y en la tabla 14 el flujo de caja.



EQUIPO	CANTIDAD	VALOR
Bomba	2	\$ 560.000
Tanque	1	\$ 4'408.000
Tubería	9 mts. (aprox)	\$ 135.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 5'103.000</b>

**Tabla 13. Equipos básicos para el reúso**  
(Elaboración propia)

PERIODO	AHORRO	INVERSION	COSTO DE OPERACIÓN (ENERGIA Y MANO DE OBRA)	UTILIDAD
<b>MES 1</b>	\$ 2.197.720	\$ 5.103.000	\$ 559.340	<b>\$ (3.464.620)</b>
<b>MES 2</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 3</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 4</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 5</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 6</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 7</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 8</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 9</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 10</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 11</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>MES 12</b>	\$ 2.197.720		\$ 559.340	<b>\$ 1.638.380</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 26.372.640</b>	<b>\$ 5.103.000</b>	<b>\$ 6.712.080</b>	<b>\$ 14.557.560</b>

**Tabla 14. Flujo de caja**  
(Elaboración propia)

- Tiempo de retorno

$$T = \frac{I}{E - M}$$

Donde:

T = Tiempo de retorno

I = Inversión inicial

E = Beneficio anual conseguido

M = costo anual de mantenimiento

$$T = \frac{5'103.000}{26'372.640 - 6'712.074}$$

$$T = 0,26 \text{ Años} = 3 \text{ Meses}$$

En 3 meses se recupera la inversión lo cual se encuentra dentro de lo tiempos estimados por el Hospital Pablo Tobón Uribe para la recuperación de las inversiones en un proyecto.

- Rata de Repago

$$RPR = \frac{\text{Tiempo de vida de la inversion}}{\text{Periodo de retorno}}$$

$$RPR = \frac{24 \text{ meses}}{3 \text{ meses}}$$

$$RPR = 8$$

Podemos concluir que con un estimado de vida útil de 2 años, el proyecto se pagaría 8 veces durante este tiempo.

- Valor presente neto

$$VPN = \$ 11'322.763$$

El VPN permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión. (VAQUIRO C.)

Al respecto, Johnson (1998) citado en (ALTUVE, 2004) se expresa así: “en resumen, un proyecto de inversión de capital debería aceptarse si tiene un valor presente neto positivo, cuando los flujos de efectivo esperados se descuentan al costo de oportunidad”

Ya que la VPN nos dio positivo, podemos decir que el proyecto tendrá un incremento equivalente a \$ 11'322.763 por tanto, es viable económicamente.

## **CAPITULO 3**

### **CONCLUSIONES**

#### **3.1 CONCLUSIONES**

Teniendo en cuenta los análisis realizados, se determina que el reúso de los últimos enjuagues para los primeros, es factible técnica, económica y ambientalmente.

Los equipos necesarios para el sistema de reúso se consiguen en la ciudad y dado que no es necesario un sistema de tratamiento (solo una filtración del agua), los costos de inversión son mínimos comparados con el beneficio económico que se obtiene (periodo de retorno de la inversión en 3 meses).

Adicionalmente, el proyecto reduce considerablemente los consumos de agua lo que ambientalmente es positivo ya que como se explico anteriormente, el agua es un bien cada vez más escaso.

La dificultad que se puede presentar a la hora de implementar el reúso de agua consiste en el espacio necesario para ubicar los tanques ya que si bien se cuenta con una zona verde al exterior de la lavandería, esta se encuentra en un proceso de ampliación que podría reducir el espacio con que se cuenta.

## BIBLIOGRAFÍA

- *Cuido el agua.* (2009). Recuperado el 2012, de <http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguaresiduales/aguasresiduales.html>
- *Consumo Responsable.* (2011). Recuperado el 2012, de [http://www.consumoresponsable.org/actua/agua/por\\_que\\_ahorrar\\_agua](http://www.consumoresponsable.org/actua/agua/por_que_ahorrar_agua)
- ALTUVE, J. (2004). El uso del valor actual neto y la tasa interna de retorno para la valoración de las decisiones de inversión. *Actualidad Contable*, 7-17.
- Ambiente, S. D. (2006). *Manual de producción más limpia para el sector salud*. Bogota: Corporacion Ambiental Empresarial.
- ARISTIZABAL, A., & BERMUDEZ, M. C. (2007). *Estudio De La Factibilidad De Un Sistema De Electrocoagulación Para Tratamiento De Aguas Procedentes De Lavanderías Industriales Con Fines De Reuso*. Medellin.
- Bassi MD, M. J. (2003). *Mutagenicity of antineoplastic drug residues treated in health care waste autoclave*.
- CENTRO REGIONAL DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA. (2010). Documentación de Caso Exitoso Programa de Uso Eficiente y Racional del Agua en la Fundación Clínica Valle de Lili Cali. 8-13.
- D.C., S. D. (2009). *Manual Guía para el Diseño Arquitectónico Unidad de Servicios Generales*. Bogota D.C.
- DANESHVAR, N., DJAFARZADEH, N., & OLADEGARAGOZE, A. (2006). Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation : an investigation of the effect of operational parameters. *Journal of Hazardous Materials.*, 116-122.

- EMMANUEL, E. P. (2005). Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. *Journal of Hazardous Materials*, A117.
- EPA, U. (2000). *Technical Development Document for the Final Action Regarding Pretreatment Standards for the Industrial Laundries Point Source Category*. n. 821-R-00-006. Chapter 6. Washington D.C. USA.
- EPM. (2012). *EPM*. Recuperado el Agosto de 2012, de [http://www.epm.com.co/site/clientes\\_usuarios/Clientesyusuarios/Empresas/Aguas/Indicadoresdecalidad.aspx](http://www.epm.com.co/site/clientes_usuarios/Clientesyusuarios/Empresas/Aguas/Indicadoresdecalidad.aspx)
- HOEKSTRA, A., CHAPAGAIN, A., ALDAYA, M., & MEKONNEN, M. (2009). *Water Footprint Manual*.
- M. PAZ, H. M. (2009). Aguas residuales de un Centro Hospitalario de Buenos Aires, Argentina: Características químicas, biológicas y toxicológicas. *VIRTUALPRO*, 31.
- MANCUSO, P. S. (2003). Reuso de Água. *São Paulo: Manole*, 576.
- MERCADO MARTINEZ, I. (2005). *La electrocoagulación, una nueva alternativa para el tratamiento de aguas residuales*. Proyecto de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín.
- MIRANDA, D. D. (2007). *GestioPolis*. Recuperado el 2012, de <http://www.gestiopolis.com/finanzas-contaduria/aspectos-a-considerar-en-una-analisis-de-factibilidad-financiera.htm>
- MOLLAH, M. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 199-210.
- NIETO TOLOSA, M. (Julio de 2009). <http://habitat.aq.upm.es/>. Recuperado el Septiembre de 2012, de <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-huella-hidrica.html>

- OMS, O. (2008). *Hospitales saludables, planeta saludable, personas saludables. Abordando el cambio climatico en los establecimeintos de salud.*
- OMS, O. (2009). *Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico.* Guia tecnica sobre saneamiento, agua y salud. Guia tecnica No. 9.
- SANCHES ANDRADE, L. (2008). *reuso de água em hospitais: o caso do hospital "santa casa de misericórdia de itajubá".* ITAJUBÁ.
- SAÚDE, T. E. (2009). *Processamento de Roupas de Serviços de Saúde. Prevenção e controle de riscos.* Brasilia.
- TCHOBANOGLIOUS, G. (1996). *Ingeniería de aguas residuales : tratamiento, vertido y reutilización.* Mexico: Mc Graw Hill.
- TURK, S., PETRINIC, I., & SIMONIC, M. (2005). *Laundry wastewater using coagulation and membrane filtration.* Resources Conservation & Recycling 44.
- VAQUIRO C., J. (s.f.). *PYMES FUTURO.* Recuperado el Septiembre de 2012, de [www.pymesfuturo.com/vpneto.htm](http://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm)
- WWF, Soy ECOlombiano, & El Espectador. (2010). *Acciones practicas hacia un estilo de vida sostenible (Vol. 2).* Colombia.