

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE QUÍMICOS RESIDUALES  
RESULTANTES DEL ÁREA DE PATOLOGÍA DEL HOSPITAL GENERAL DEL  
INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL, ISSS.**

**PRESENTADO POR:**

**ANDREA GUADALUPE FUENTES TORRES**

**WILFREDO ANTONIO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**MAX ALBERTO MONTANO FLORES**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2024**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA.**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO:

**ARQ. RAUL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

DIRECTORA INTERINA:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Título:

**PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO DE QUÍMICOS RESIDUALES  
RESULTANTES DEL ÁREA DE PATOLOGÍA DEL HOSPITAL GENERAL DEL  
INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL, ISSS.**

Para optar al título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

Presentado por:

**ANDREA GUADALUPE FUENTES TORRES  
WILFREDO ANTONIO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ  
MAX ALBERTO MONTANO FLORES**

Docente asesora:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente asesora:

**INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres Raúl y Ester por siempre confiar en mí y darme todo su apoyo para lograr convertirme en la persona y profesional que soy. A mis hermanos Raúl, Katherine y Javier por siempre protegerme y apoyarme durante toda la vida y mi trayecto académico. A mi cuñada Angie por apoyarme a lograr mis metas y escucharme cuando era necesario.

A mis amigos de colegio y universidad por todos los momentos compartidos durante todo el tiempo de estudio.

A Abraham Preza por siempre estar para mí, confiar en mis ideas y darme ánimos para lograr todos los retos que se presentan.

A mi mejor amiga Michelle Donis por siempre estar para mí.

A mi gatita Donna, por compartir conmigo largas noches de desvelos y estudio, y estar incondicionalmente.

A mis amigos Paola, Wilfredo, José Luis y Raúl por darme apoyo en todo el proceso de realizar este trabajo de tesis, especialmente a Paola por ayudarme a realizar las pruebas.

A mis profesores especialmente a la Ingeniera Gamero por toda su ayuda durante la carrera y la realización de este trabajo de graduación. A mis compañeros Max Montano y Wilfredo Hernández por compartir este trabajo de investigación.

Y finalmente a todas las personas con las que he coincidido en el ámbito académico y laboral que han contribuido a formar quien soy.

*Andrea Fuentes*

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres José y Fanny por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo, por ser un ejemplo de vida a seguir. A mis familiares por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.

Con profunda estima y reconocimiento, extiendo mi más sincera gratitud a mi asesora de tesis, la Ingeniera Eugenia Gamero. Su dedicación docente y su valiosa guía ha sido pilar fundamental en la dirección y enriquecimiento de esta investigación.

Mi gratitud se extiende a la Universidad de El Salvador, alma mater de la excelencia académica, que ha fomentado el desarrollo de un espíritu crítico esencial para el análisis profundo de los desafíos como país.

A mis compañeros de investigación, Andrea Fuentes y Wilfredo Hernández, les agradezco su invaluable apoyo, por compartir su tiempo y sus reflexiones al realizar la investigación.

Reconozco a la Organización del Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social por abrir sus puertas y permitirnos realizar las visitas que han sido claves en la construcción de este estudio.

Finalmente, mi reconocimiento al Programa Jóvenes Talento por su apoyo y ser los primeros en guiar mis pasos en la búsqueda de conocimiento y aprendizaje, facilitando mi aprendizaje y apoyando en mi camino académico.

A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento por su invaluable contribución a este viaje académico.

*Max Montano*

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme llegar a esta etapa tan importante de mi vida académica.

Luego, a mi familia, por sobre todo a mis padres, Gilda y Wilfredo, por su amor y apoyo, son mi ejemplo a seguir de superación, fortaleza y amor incondicional. Gracias por cada sacrificio que tuvieron que afrontar para que yo pudiera seguir creciendo, por cada consejo, abrazo y por nunca perder la fe en mí.

A mis hermanos, Kevin y Jaime, quienes han sido en mi vida una fuente constante de apoyo, comprensión y alegría. Son una parte esencial de mi vida y su hermandad es un regalo que valoro y del cual estaré siempre agradecido.

A mi tía Mariana y mi madrina Sor Ana, que han sido una guía en mi camino.

A mis abuelos, que fueron quienes me formaron como persona, que inculcaron los valores y creencias que forman parte de mi esencia. Y sé qué, desde el Cielo, todavía cuidan de mí, gracias hasta la eternidad.

A nuestra asesora de tesis, Ingra. Gamero y a todos mis docentes universitarios por todos los conocimientos y lecciones durante este proceso de formación.

Al personal y gerencia de Hidropur, quienes confiaron en mí y me permitieron iniciar mi formación laboral. Así también al personal y gerencia de CSL Comalapa por darme la confianza para continuar una nueva etapa en mi crecimiento profesional.

A mis compañeros de tesis, Andrea y Max, que su constancia y esfuerzo han permitido que logremos llegar al final de esta etapa.

Y por último pero muy especialmente a Adri, por ser mi luz e inspiración en esta vida.

*Wilfredo Henández*

## RESUMEN

El manejo adecuado de los desechos químicos generados en los establecimientos de salud es fundamental para asegurar la seguridad de los trabajadores y la protección del medio ambiente. En el contexto del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS), particularmente en el área de patología, se enfrenta un desafío significativo debido a la generación de grandes cantidades de residuos químicos derivados de procesos de diagnóstico, tratamiento y conservación de muestras biológicas.

El área de patología del ISSS utiliza una variedad de reactivos y sustancias químicas, tales como formaldehído, xileno, alcoholes, y soluciones fijadoras y colorantes. Estos compuestos, una vez utilizados, se convierten en desechos peligrosos que requieren una gestión y tratamiento adecuado para evitar consecuencias adversas.

Actualmente, el Hospital General del ISSS no cuenta con un sistema de tratamiento adecuado para estos desechos, por lo que la exposición a estos desechos químicos puede causar problemas de salud agudos (como irritación de la piel y ojos) y crónicos (incluyendo enfermedades respiratorias y cáncer) en el personal médico y de laboratorio. La liberación inadecuada de estos desechos al medio ambiente puede contaminar el suelo y el agua, afectando la flora y fauna locales, y representando un riesgo para la salud pública.

La falta de un sistema de manejo adecuado puede resultar en incumplimientos normativos, lo que podría llevar a sanciones legales y daños a la reputación de la institución.

La implementación de un sistema adecuado para el tratamiento de desechos químicos en el ISSS, es esencial para mitigar los riesgos a la salud del personal y proteger el medio ambiente.

Un manejo efectivo de estos desechos, contribuirá a mejorar las condiciones laborales y ambientales en el ISSS, garantizando un entorno seguro y sostenible. La adopción de esta propuesta no solo cumplirá con las normativas vigentes, sino que también demostrará el compromiso del ISSS con las mejores prácticas de gestión hospitalaria y ambiental.

Durante el desarrollo de la investigación para la selección de la alternativa debido a problemas en el trámite para la obtención de muestras de los químicos residuales del área de patología del hospital general del ISSS, las pruebas de laboratorios se realizaron con químicos vírgenes y se procesaron a través de carbón activado, esto para poder definir si la adsorción con el mismo es efectiva para estos químicos.

El carbón activado se utilizará para adsorber químicos residuales producidos por el área de Patología del hospital general del ISSS, aprovechando su capacidad para capturar y retener contaminantes de diversas sustancias. Es importante destacar que no se recomienda el secado del carbón activado para su reutilización, ya que este proceso puede comprometer su eficacia y que debido a que por la naturaleza de los químicos adsorbidos este puede ser altamente inflamable.

Debido a que actualmente no se cuenta con una empresa o institución autorizada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los desechos obtenidos del proceso de tratamiento deberán ser acopiados en un sitio adecuado para tal fin hasta su disposición final.

Asegurando de esta manera el cumplimiento de las normativas existentes para evitar riesgos ambientales y de salud, garantizando así un manejo seguro de los residuos generados.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Historia de la Seguridad Social en El Salvador.</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Base Teórica</b>	<b>6</b>
1.2.1. Aguas residuales .....	6
1.2.2. Sistemas de tratamientos.....	7
1.2.3. Marco Legal.....	8
<b>1.3. Sistema de tratamiento existente en el lugar de estudio.</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 2. DESECHOS QUÍMICOS GENERADOS DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS.</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Generalidades de los químicos.</b>	<b>20</b>
2.1.1. Formalina .....	21
2.1.1.1. Formas de Presentación .....	23
2.1.1.2. Usos en el ámbito sanitario.....	23
2.1.1.3. Áreas de exposición .....	24
2.1.1.4. Efectos a la salud .....	24
2.1.2. Xileno.....	25
2.1.2.1. Clasificación. ....	28
2.1.2.2. Áreas de exposición .....	28
2.1.2.3. Efectos a la salud. ....	29
2.1.3. Alcohol Etilico .....	29
2.1.3.1. Descripción .....	29
2.1.3.2. Usos.....	30

2.1.4. Alcohol Metílico .....	31
2.1.4.1. Definición .....	31
2.1.4.2. Aplicaciones.....	32
<b>2.2. Impacto medioambiental generado por la mala disposición de los químicos residuales en el lugar de estudio.</b>	<b>33</b>
<b>2.3. Composición de descarga producida por el Hospital General del ISSS.</b>	<b>34</b>
2.2.1. Requisitos para el envío de muestras:.....	35
2.3.2. Maquinaria existente en el Departamento de Patología.....	35
2.3.3. Composición de descarga generada por Planta de Tratamiento de Hospital General. .	37
2.3.4. Fases del manejo de los desechos bioinfecciosos .....	39
2.3.5. Manejo externo. ....	40
<b>CAPÍTULO 3. TRATAMIENTOS Y ALTERNATIVAS DE DISPOSICIÓN FINAL PARA LOS QUÍMICOS RESIDUALES DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS.</b>	<b>45</b>
<b>3.1. Formalina</b>	<b>45</b>
<b>3.2. Xileno</b>	<b>46</b>
3.2.1. Adsorción.....	46
3.2.2. Oxidación.....	46
3.2.3. Biodegradación .....	47
3.2.4. Destilación y Extracción.....	47
3.2.5. Filtración.....	47
3.2.6. Tratamiento de aireación.....	47
<b>3.3. Alcohol Etílico y Alcohol Metílico.</b>	<b>47</b>
3.3.1. Adsorción.....	48
3.3.2. Oxidación avanzada.....	48
3.3.3. Destilación .....	49
3.3.4. Biodegradación .....	49

**CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS. 50**

**4.1. Planteamiento metodológico para la caracterización de la planta de tratamiento de aguas del Hospital General del ISSS. 50**

- 4.1.1. Descripción del sitio de estudio..... 50
- 4.1.2. Descripción del recorrido..... 52
- 4.1.3. Visita de Primera Interacción Formal ..... 53

**CAPÍTULO 5. DISEÑO PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS QUÍMICOS RESIDUALES DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS. 60**

**5.1. Planteamiento metodológico para la selección de alternativas para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS. 60**

- 5.1.1. Elección de alternativa de tratamiento a utilizar para cada químico residual..... 60

**5.2. Diseño de marchas de laboratorio para las pruebas de alternativa para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS. 62**

- 5.2.1. Sistema de Variables..... 63
- 5.2.2. Diseño ..... 64
- 5.2.3. Proceso Pre Experimental..... 65
- 5.2.4. Materiales:..... 65
- 5.2.5. Proceso Experimental. .... 66
  - 5.2.5.1. Obtención de las curvas de calibración..... 66
  - 5.2.5.2. Formalina ..... 66
  - 5.2.5.3. Obtención de curvas de concentraciones adsorbidas..... 69
  - 5.2.5.4. Xileno, Alcohol Metílico y Etílico: ..... 71

**5.3. Resultados 73**

- 5.3.1. Formalina ..... 73
- 5.3.2. Xileno, Alcohol Metílico y Alcohol Etílico:..... 76

5.3.3. Realizar la aplicación del modelo de isoterma de Freundlich para ajustar los datos experimentales. ....	78
5.3.4. Plan de análisis.....	79
5.3.5. Influencia de la cantidad del carbón activado en la remoción de formalina.....	80
5.3.6. Determinar los parámetros de los modelos de adsorción, como la capacidad de adsorción máxima y la constante de adsorción.....	81
<b>5.4. Análisis de los resultados</b>	<b>85</b>
<b>CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LOS QUÍMICOS RESIDUALES DEL HOSPITAL GENERAL DEL ISSS.</b>	<b>87</b>
<b>6.1. Planteamiento metodológico para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS.</b>	<b>87</b>
6.1.1. Adsorción en Continuo .....	87
6.1.2. Contactores de Adsorción.....	90
6.1.3. Descripción del proceso de selección de la alternativa.....	95
6.1.4. Descripción de cambios y modificaciones a la planta de tratamientos de agua del Hospital General del ISSS. ....	95
<b>6.2. Estudio económico para la implementación de la alternativa a implementar.</b>	<b>95</b>
<b>6.3. Resultados de la evaluación</b>	<b>96</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>100</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>101</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>102</b>
<b>A. ANEXO</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Mapa de ubicación del Hospital General del ISSS. ....	6
<b>Figura 1.2.</b> Tratamiento de aguas residuales. ....	10
<b>Figura 1.3.</b> Trampas de grasa del área de alimentación, dietas y comedor privado. ....	15
<b>Figura 1.4.</b> Equipos automatizados de laboratorio clínico y anatomía patológica. ....	18
<b>Figura 1.5.</b> Ubicación de descargas de aguas residuales y sus valores de caudal del complejo hospital general .....	19
<b>Figura 2.1.</b> Químicos residuales hospitalarios. ....	20
<b>Figura 4.1.</b> Referencia de ubicación geográfica de Hospital General del ISSS. ....	51
<b>Figura 5.1.</b> Resultados arrojados por el espectrofotómetro de infrarrojo cercano. A) Curva completa, B) Área específica. C) Zona donde se localiza correctamente la tendencia. ....	68
<b>Figura 5.2.</b> Curva muestra concentración adsorbida para muestra de 5g (roja) y 10 g (amarilla). ....	70
<b>Figura 5.3.</b> Curva de concentración. Curvas moradas corresponden a 5 g de carbón activado y curvas verdes a 10 g de carbón activado. ....	73
<b>Figura 5.4.</b> Resultados del método PLS .....	74
<b>Figura 5.5.</b> Resultados del método MLR. ....	75
<b>Figura 5.6.</b> Linealización de la isoterma de Freundlich para el sistema carbón activado-formalina. ....	82
<b>Figura 5.7.</b> Gráfico de la recta del comportamiento de adsorción del sistema carbón activado-xileno. ....	83
<b>Figura 5.8.</b> Gráfico de la recta del comportamiento de adsorción del sistema carbón activado-alcohol metílico. ....	84
<b>Figura 5.9.</b> Gráfico de la recta del comportamiento de adsorción del sistema carbón activado-alcohol etílico. ....	85
<b>Figura 6.1.</b> Curva de ruptura típica para el carbón activo, mostrando la zona de transferencia de masa. ....	88
<b>Figura 6.2.</b> Configuración de contactores de carbón activo. a) Serie. b) Paralelo. ....	90
<b>Figura 6.3.</b> Configuración de contactores de carbón activo. ....	91
<b>Figura 6.4.</b> Ilustración de un contactor presurizado continuo. ....	94
<b>Figura 6.5.</b> Ilustración de contactores en paralelo. ....	94

*Figura A 1. Detalle de cálculos generados para Formalina en equipo NIR. .... 108*

## ÍNDICE DE TABLAS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

<i>Tabla 1.1. Análisis de agua residual. Entrada y salida a la planta de tratamiento de aguas residuales.</i> .....	11
<i>Tabla 1.2. Análisis de agua residual consultorio de especialidades.</i> .....	12
<i>Tabla 1.3. Análisis de agua residual sección alimentación y dietas.</i> .....	14
<i>Tabla 1.4. Análisis de agua residual sección lavandería central.</i> .....	16
<i>Tabla 2.1. Residuos generados en el hospital del ISSS y sus usos.</i> .....	21
<i>Tabla 2.2. Propiedades fisicoquímicas del formaldehído.</i> .....	22
<i>Tabla 2.3. Propiedades fisicoquímicas del Xileno.</i> .....	27
<i>Tabla 2.4. Propiedades fisicoquímicas del alcohol etílico.</i> .....	30
<i>Tabla 2.5. Detalle de impactos ambientales generados por las sustancias.</i> .....	34
<i>Tabla 2.6. Equipo utilizado en el área de Patología del Hospital General de ISSS.</i> .....	36
<i>Tabla 2.7. Composición de los desechos peligrosos del Complejo Hospital General del ISSS.</i> .....	41
<i>Tabla 4.1. Descripción de primeras interacciones de visita formal.</i> .....	53
<i>Tabla 4.2. Recorrido realizado por las instalaciones del Hospital General del ISSS.</i> .....	54
<i>Tabla 4.3. Recorrido realizado por las instalaciones del Hospital General del ISSS.</i> <i>(Continúa...)</i> .....	55
<i>Tabla 4.4. Recorrido realizado por las instalaciones del Hospital General del ISSS. (Continúa...)</i> .....	56
<i>Tabla 4.5. Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS.</i> .....	56
<i>Tabla 4.6. Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS. (Continúa...)</i> .....	57
<i>Tabla 4.7. Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS. (Continúa...)</i> .....	58
<i>Tabla 4.8. Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS. (Continúa...)</i> .....	59
<i>Tabla 5.1. Evaluación de Tratamientos para Formalina.</i> .....	60
<i>Tabla 5.2. Evaluación de Tratamientos para Xileno.</i> .....	61

<b>Tabla 5.3.</b> <i>Evaluación de Tratamientos para Alcohol Etílico y Alcohol Metílico.</i> .....	62
<b>Tabla 5.4.</b> <i>Reactivos y equipo a utilizar.</i> .....	65
<b>Tabla 5.5.</b> <i>Determinación de volúmenes y concentraciones a partir de ec 1</i> .....	67
<b>Tabla 5.6.</b> <i>Reactivos y equipo para utilizar</i> .....	70
<b>Tabla 5.7.</b> <i>Concentraciones obtenidas por medio de NIR</i> .....	75
<b>Tabla 5.8.</b> <i>Peso adsorbido de Xileno en carbón activado.</i> .....	76
<b>Tabla 5.9.</b> <i>Peso adsorbido de Alcohol Metílico en carbón activado.</i> .....	77
<b>Tabla 5.10.</b> <i>Peso adsorbido de Alcohol Etílico en carbón activado.</i> .....	77
<b>Tabla 5.11.</b> <i>Parámetros de la isoterma de Freundlich para sistema carbón activado-formalina.</i> .....	81
<b>Tabla 5.12.</b> <i>Parámetros de la recta de comportamiento del sistema de adsorción carbón activado-xileno.</i> .....	82
<b>Tabla 5.13.</b> <i>Parámetros de la recta de comportamiento del sistema de adsorción carbón activado-alcohol metílico.</i> .....	83
<b>Tabla 5.14.</b> <i>Parámetros de la recta de comportamiento del sistema de adsorción carbón activado-alcohol etílico.</i> .....	84
<b>Tabla 6.1.</b> <i>Costos estimados asociados a la instalación de la alternativa del tratamiento para la planta del ISSS</i> .....	95

## INTRODUCCIÓN

El manejo adecuado de los desechos químicos generados en el ámbito de la salud es de vital importancia para garantizar la seguridad tanto de los trabajadores de la salud como del medio ambiente. En el Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS), el área de patología genera una gran cantidad de químicos residuales provenientes de procesos de diagnóstico, tratamiento y conservación de muestras biológicas.

El ámbito hospitalario, particularmente en áreas especializadas como la patología, utiliza una variedad de reactivos y sustancias químicas que, tras su uso, se convierten en desechos potencialmente peligrosos. Estos desechos incluyen formaldehído, xileno, alcoholes y diversas soluciones fijadoras y colorantes. La falta de un sistema de tratamiento adecuado para estos desechos puede tener múltiples consecuencias negativas, que abarcan desde riesgos para la salud del personal expuesto hasta impactos adversos en el medio ambiente.

Los desechos químicos sin tratar representan una amenaza directa para los trabajadores de la salud. La exposición a estos productos puede causar efectos agudos, como irritación de la piel y los ojos, así como efectos crónicos, incluyendo enfermedades respiratorias y cáncer. Adicionalmente, si estos desechos se liberan al medio ambiente sin un tratamiento adecuado, pueden contaminar el suelo y el agua, afectando a la fauna y la flora local y poniendo en riesgo la salud pública.

Actualmente, el Hospital General del ISSS no cuenta con un sistema de tratamiento adecuado para estos desechos, lo que exacerba los riesgos mencionados. Este déficit en el

manejo de residuos químicos puede deberse a la falta de infraestructura especializada, desconocimiento de las técnicas adecuadas de tratamiento o insuficiencia de recursos financieros y humanos. La ausencia de un sistema eficaz no solo pone en peligro la salud del personal y del entorno, sino que también puede implicar sanciones legales para la institución.

Al identificar esta problemática, se determinó la necesidad de realizar un estudio exhaustivo para plantear una propuesta de tratamiento de los químicos residuales.

Por lo que el implementar un sistema adecuado de tratamiento de desechos químicos en el Hospital General del ISSS no solo es una necesidad imperiosa para proteger la salud del personal y del medio ambiente, sino que también representa un compromiso con las mejores prácticas en ingeniería y gestión hospitalaria. Un manejo adecuado de estos residuos contribuirá significativamente a la sostenibilidad y seguridad del entorno hospitalario, estableciendo un precedente positivo para otras instituciones de salud en la región.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Desarrollar una propuesta para tratamiento de manera segura los químicos residuales resultantes del área de Patología del Hospital General del ISSS.

### **Objetivos Específicos**

- a. Realizar un estudio cualitativo y cuantitativo de los químicos residuales resultantes del área de patología.
- b. Profundizar sobre el impacto medioambiental generado por la mala disposición de los químicos residuales resultantes del área de patología.
- c. Investigar procesos para la inactivación de los químicos residuales resultantes del área de patología.
- d. Definir los tratamientos efectivos para inactivación de los químicos residuales resultantes del área de patología.
- e. Determinar la viabilidad económica de implementar el sistema de tratamiento más adecuado.

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1. Historia de la Seguridad Social en El Salvador.**

Esta institución pública se originó debido a la necesidad de brindar atención al trabajador, así como a sus dependientes, de las contingencias de enfermedades, accidentes de trabajo, maternidad, invalidez, vejez, muerte y cesantía involuntaria. Tiene sus antecedentes en la Conferencia Centroamericana celebrada el 7 de febrero de 1923, en Washington, Estados Unidos. En ese momento aún no se disponía de una institución que se dedicara a ejercer un régimen de seguridad social obligatorio, en que el patrono, el Estado y el propio trabajador, contribuyan al alivio de este último y de las personas que de él dependen, en cubrir el mayor número de atenciones de salud y de prestaciones económicas. (Portal de Transparencia - El Salvador, 2017)

Bajo el contexto anterior, los poderes públicos de esa época buscaban garantizar la tranquilidad y bienestar de la nación, motivo por el cual fijaron especial importancia a la creación del instituto, debido a los efectos beneficiosos que presenta un sistema de seguridad social, semejante al de la mayoría de los países civilizados. El primer director general del ISSS fue el Dr. Gregorio Ávila Agacio, quien fungió como tal desde mayo de 1950 hasta enero de 1952. El 14 de mayo de 1954 se iniciaron los servicios médicos, cuando era presidente Constitucional de la República el coronel Oscar Osorio, quien particularmente mostraba entusiasmo porque El Salvador contara con un Seguro Social, ya que eso indicaba que el país daba un paso más hacia su modernización. (Portal de Transparencia - El Salvador, 2017)

También es destacable el hecho que en 1969 se implementó en el país el programa de Riesgos Diferidos, que comprende Invalidez, Vejez y Muerte, a través del cual se beneficiarían numerosos derechohabientes. Asimismo, el 1 de Mayo de 1969 fueron inauguradas las instalaciones del ex Hospital General, edificio con capacidad para 400 camas, considerado uno de los más grandes de Centroamérica. Es indudable que el Seguro Social se ha convertido en una institución indispensable en la sociedad, no sólo porque conlleva una filosofía de protección al trabajador en el ámbito de salud y laboral, sino porque en el mismo hay tres principios fundamentales que respetar: Universalidad, Solidaridad y Equidad. (Portal de Transparencia - El Salvador, 2017)

Desde el año 2005 el ISSS cuenta con 38 centros que brindan atención integral de salud familiar a nivel nacional. En ese mismo año se puso en marcha el proyecto de los Centros de Atención de Día para los Adultos Mayores del ISSS, denominados CAD. Dichos centros consisten en un espacio físico propio para los Adultos Mayores, en donde puedan realizar actividades recreo-educativas y que compartan experiencias de vida junto a personas de su misma condición, para lograr un envejecimiento con dignidad y buena calidad de vida. (Portal de Transparencia - El Salvador, 2017)



**Figura 1.1.** Mapa de ubicación del Hospital General del ISSS. Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

El Complejo Hospital General comprende el Hospital General, Consultorio de Especialidades, Secciones Lavandería Central y Alimentación y Dietas. Está localizada entre Alameda Juan Pablo II y 25 Av. Norte, prolongación Bulevar Tutunichapa y calle Guadalupe en el Municipio de San Salvador. Su localización geográfica es en las coordenadas longitud  $-89^{\circ}12'12''$  y latitud  $13^{\circ}42'13''$  y una elevación promedio de 670.50 m.s.n.m. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social).

## 1.2. Base Teórica

### 1.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales se refieren al agua que ha sido utilizada en diversas actividades humanas y que ha sido contaminada como resultado de esos usos. Las aguas residuales pueden clasificarse en dos categorías principales:

**a. Aguas Residuales Domésticas.**

Producidas por hogares y edificios residenciales. Contienen contaminantes como materia orgánica, detergentes y microorganismos patógenos. Se recogen y tratan en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) antes de ser devueltas al medio ambiente o reutilizadas. (Ferrovial, 2024)

**b. Aguas Residuales Industriales**

Producidas por procesos industriales y comerciales. Pueden contener una amplia variedad de contaminantes, incluyendo productos químicos tóxicos y metales pesados. El tratamiento de estas aguas residuales es crucial para evitar la contaminación del agua y el suelo. (Ferrovial, 2024)

**1.2.2. Sistemas de tratamientos.**

El tratamiento de aguas residuales implica varios procesos, que pueden incluir, remoción de sólidos grandes y objetos que puedan dañar equipos de tratamientos, también separación de sólidos sedimentables y flotantes que reducen la carga orgánica. En los tratamientos secundarios que realiza eliminación adicional de contaminantes orgánicos mediante procesos biológicos, en los tratamientos terciarios se utilizan procesos avanzados para eliminar nutrientes y contaminantes específicos. Así mismo se tienen procesos de desinfección en los que se realiza eliminación de microorganismos

patógenos para proteger la salud pública. Los tratamientos biológicos de aguas residuales utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica en las aguas residuales. Los dos tipos principales de tratamientos biológicos son los tratamientos biológicos aeróbicos y anaeróbicos. (Ferrovia, 2024)

### **1.2.3. Marco Legal.**

En el país el documento que engloba el marco legal sobre aguas residuales es el “Reglamento especial de aguas residuales – Decreto N°39” que tiene por objeto velar porque las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenibles del recurso hídrico respecto de los efectos de la contaminación. Publicado el veintisiete de julio de dos mil veintitrés en el portal de transparencia de El Salvador.

### **1.3. Sistema de tratamiento existente en el lugar de estudio.**

Se cuenta con una planta que da Tratamiento exclusivamente a las Aguas Residuales del Hospital General; básicamente su funcionamiento se divide en cuatro fases: Pretratamiento, Aireación, Sedimentación secundaria y Desinfección. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

La Planta brinda tratamiento a través de un proceso biológico conocido como Aireación Extendida o Digestión Aeróbica en donde el agua residual cruda entra a un tanque de aireación donde su contenido es mezclado y oxigenado por medio de grandes

volúmenes de aire que se inyectan a presión dentro del mismo tanque. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Conforme las mismas burbujas se elevan hasta la superficie, transfieren oxígeno al líquido contenido en el tanque. Después de que el líquido tratado sale del tanque aireador, se traslada a un tanque sedimentador en el cual el agua se mantiene en completo reposo. Aquí todas las partículas parcialmente tratadas se sedimentan en el fondo del tanque y son regresadas al tanque de aireación (Proceso de recirculación) para completar el tratamiento. Estructuralmente la Planta de Tratamiento consta de un cárcamo de bombeo, cámara de entrada y desarenador, dos tanques de aireación, dos tanques sedimentadores, un digestor de lodos, una cámara cloradora, caseta y equipo de control. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Actualmente la operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento es realizado con personal institucional que realiza la operación diaria de rutina y empresa contratada que dosifica bacterias para mejorar el tratamiento biológico. En relación con los lodos generados, eventualmente se contrata empresa que realiza la remoción y disposición final de los mismos. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Los resultados del laboratorio de calidad de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento del Hospital General, expresan que se cumple con los valores límite permisibles establecidos por la “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004). En la determinación del grado de

eficiencia de las Plantas de Tratamiento biológico los valores de DBO5 y DQO juegan los papeles más importantes. Para el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General y de acuerdo con los resultados de los análisis de laboratorio, la eficiencia para ambos parámetros es de 95%. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Las aguas procedentes de la planta cuentan con permiso de descarga al alcantarillado público por parte de ANDA. En la Figura 1.2, se presenta fotografías de la planta de tratamiento existente en el Hospital General.



*Figura 1.2. Tratamiento de aguas residuales. Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)*

*Tabla 1.1. Análisis de agua residual. Entrada y salida a la planta de tratamiento de aguas residuales.*

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN SEGÚN NORMA	RESULTADO		COMENTARIO
		ENTRADA A LA PTAR	SALIDA A LA PTAR	
<b>pH</b>	5.50-9.00	7.6	7.2	Cumple normativa
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	450 mg/L	176.0 mg/L	20.0 mg/L	Cumple normativa
<b>Sólidos Sedimentables</b>	20 mg/L	2 mg/L	0.1 mg/L	Cumple normativa
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	1000 mg/L	588.5 mg/L	30.9 mg/L	Cumple normativa
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	400 mg/L	177.3 mg/L	9.3 mg/L	Cumple normativa
<b>Aceites y Grasas</b>	150 mg/L	13.8 mg/L	Menor a 3.3 mg/L	Cumple normativa
<b>Plata</b>	3 mg/L	Menor a 0.005 mg/L	Menor a 0.005 mg/L	Cumple normativa
<b>Temperatura</b>	20-35°C	27°C	28°C	Cumple normativa
<b>Recuerdo Coliformes Totales</b>	No disponible	78,000,000 NMP/100 mL	130,000 NNM/100 mL	No disponible
<b>Recuerdo Coliformes Fecales</b>	No disponible	160,000 NMP/100 mL	350 NMP/100 mL	No disponible

*Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)*

La tabla 1.1 presenta un análisis de las características del agua residual después de su tratamiento en la planta. En las primeras columnas denominadas “PARÁMETROS” y “ESPECIFICACIÓN SEGÚN LA NORMA”, se detallan diversos parámetros de calidad del agua que exige la normativa nacional, como el pH, la concentración de sólidos suspendidos, la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la presencia de contaminantes específicos. Cada parámetro se muestra para la salida tras el proceso de tratamiento. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

En el Consultorio de Especialidades, las aguas residuales son captadas en un pozo negro ubicado en el nivel 1 del edificio A, desde donde son bombeadas hasta una caja ciega, conduciéndose por gravedad al colector de ANDA que atraviesa el inmueble. Para elevar las aguas residuales, se utiliza 2 bombas con capacidad de 3 HP las cuales funcionan de manera alternada. En la siguiente Tabla, se muestran los resultados de laboratorio de las Aguas Residuales del Consultorio de Especialidades, los cuales cumplen con los valores límite permisibles establecidos por la “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004), por lo cual dicha institución ha otorgado el permiso de descarga de aguas residuales al alcantarillado público. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

*Tabla 1.2. Análisis de agua residual consultorio de especialidades.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN SEGÚN NORMA</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>COMENTARIO</b>
<b>pH</b>	5.50-9.00	8.3	Cumple normativa
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	450 mg/L	17.0 mg/L	Cumple normativa
<b>Sólidos Sedimentables</b>	20 mg/L	0.1 mg/L	Cumple normativa
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	1000 mg/L	65 mg/L	Cumple normativa
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	400 mg/L	19 mg/L	Cumple normativa
<b>Aceites y Grasas</b>	150 mg/L	2.0 mg/L	Cumple normativa
<b>Temperatura</b>	20-35°C	25°C	Cumple normativa
<b>Recuerdo Coliformes Totales</b>	No disponible	350 NMP/100 mL	No disponible
<b>Recuerdo Coliformes Fecales</b>	No disponible	350 NMP/100 mL	No disponible
<b>Mercurio</b>	0.02 mg/L	Menor a 0.001	Cumple normativa

*Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)*

La tabla 1.2 presenta un análisis de las características del agua residual del consultorio de especialidades que son captadas en el pozo negro. En las primeras columnas, se detallan diversos parámetros de calidad del agua que exige la normativa nacional norma “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004).

La Sección Alimentación y Dietas, la cual brinda la alimentación al personal y pacientes del Hospital General, Hospital Médico Quirúrgico, Oncología, Materno Infantil 1° de Mayo y Policlínico Arce, cuenta con un sistema de pretratamiento compuesto por una red de tuberías internas conectadas a seis trampas de grasa y caja de conexión a la descarga exterior. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Para el mantenimiento del sistema, se contrata servicios de limpieza que realizan tratamiento biológico que digiere grasas, mantecas, aceites, proteínas, lípidos, detergentes y restos de materia orgánica que se acumulan en las trampas convirtiéndolas en CO<sub>2</sub> y agua. A la descarga se incorpora las aguas residuales de un comedor privado que posee su propia trampa de grasas. De acuerdo con el informe de laboratorio los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO y sólidos suspendidos superan los límites establecidos por la “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004). Ver Tabla 1.3. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Las aguas residuales procedentes de esta Sección cuentan con permiso de descarga de aguas residuales al alcantarillado público por parte de ANDA, el cual está condicionado a la realización de medidas correctivas tendientes a dar cumplimiento a los límites establecidos por la “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004). (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

*Tabla 1.3. Análisis de agua residual sección alimentación y dietas.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN SEGÚN NORMA</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>COMENTARIO</b>
<b>pH</b>	5.50-9.00	5.2	No Cumple normativa
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	450 mg/L	548.0 mg/L	No Cumple normativa
<b>Sólidos Sedimentables</b>	20 mg/L	0.7 mg/L	Cumple normativa
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	1000 mg/L	2597.0 mg/L	No Cumple normativa
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	400 mg/L	1,392.0 mg/L	No Cumple normativa
<b>Aceites y Grasas</b>	150 mg/L	129.6 mg/L	Cumple normativa
<b>Temperatura</b>	20-35°C	33°C	Cumple normativa

*Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)*

La tabla 1.2 presenta un análisis de las características del agua residual de la sección de alimentación y dietas del hospital. En las primeras columnas, se detallan diversos parámetros de calidad del agua que exige la “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004). En la Figura 1.3, se presenta fotografías de las trampas de grasas instaladas en el área de alimentación y dietas.



*Figura 1.3. Trampas de grasa del área de alimentación, dietas y comedor privado. Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)*

En el área de la Sección Lavandería Central, en promedio, diariamente se lavan 9,500 kilogramos de ropa hospitalaria procedentes del Hospital General, Hospital Médico Quirúrgico, Hospital de Oncología, Hospital Materno Infantil 1° de Mayo, Policlínicos Arce, Planes de Renderos y Roma; Unidades Médicas 15 de septiembre, San Jacinto, Atlacatl y Consultorio de Especialidades, entre las prendas lavadas se encuentran, sábanas, gabachas y compresas. El proceso de lavado comienza con recepción de ropa, lavado, secado, doblado, empaquetada y distribuida, para lo cual se cuenta con 3 lavadoras extractoras, 6 secadoras y un túnel de lavado continuo. Para la desinfección se utiliza detergentes de origen natural, ecológico y biodegradable. De acuerdo a los resultados de laboratorios presentados en la Tabla 1.4, se observa que el valor temperatura supera en 10 grados centígrados el límite máximo establecido por la “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004). (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Cabe aclarar, que las aguas residuales procedentes de esta Sección cuentan con permiso de descarga de aguas residuales al alcantarillado público por parte de ANDA, el cual está condicionado a la realización de medidas correctivas tendientes a dar cumplimiento a los límites establecidos por la “Norma para Regular la Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario” de ANDA. (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004). (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

*Tabla 1.4. Análisis de agua residual sección lavandería central.*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN SEGÚN NORMA</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>COMENTARIO</b>
<b>pH</b>	5.50-9.00	8.4	Cumple normativa
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	450 mg/L	76.0 mg/L	Cumple normativa
<b>Sólidos Sedimentables</b>	20 mg/L	2 mg/L	Cumple normativa
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	1000 mg/L	348.1 mg/L	Cumple normativa
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	400 mg/L	105.7 mg/L	Cumple normativa
<b>Aceites y Grasas</b>	150 mg/L	14.4 mg/L	Cumple normativa
<b>Detergentes</b>	35 mg/L	3.4 mg/L	Cumple normativa
<b>Temperatura</b>	20-35°C	45°C	No Cumple normativa
<b>Recuerdo Coliformes Totales</b>	No disponible	Menor a 1.8 NMP/100 mL	No disponible
<b>Recuerdo Coliformes Fecales</b>	No disponible	Menor a 1.8 NMP/100 mL	No disponible

*Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)*

La tabla 1.4 presenta un análisis de las características del agua residual de la sección de lavandería del hospital. En las primeras columnas, se detallan diversos parámetros de calidad del agua que exige la normativa nacional.

Las Secciones de Radiología e Imágenes del Hospital General y Consultorio de Especialidades cuentan con autorización para la práctica de rayos X para Diagnóstico Médico por parte de la Unidad Reguladora y Asesora de Radiaciones Ionizantes del Ministerio de Salud Pública, el cual se renueva cada dos años. Ambos centros de atención en salud sustituyeron a partir de 2014, los procesos radiológicos análogos que utilizaban fijadores y reveladores, por impresión digital a través de rayos láser. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

Los fijadores y reveladores que se utilizaban en procesos análogos contenían químicos tales como, hidroquinona y sus derivados oxidados, Fenidona, Sales de plata, Sulfito de sodio y Ácido acético, los cuales eran descargados en un recuperador de Plata, para recolectar los haluros de plata del fijador de rayos X. El uso de películas radiológicas de acetato se ha reducido, debido a que ahora con la tecnología digital, ya no se repiten las placas, se optimiza su espacio y además se cuenta con la opción de imprimir en papel. En los Laboratorios Clínicos del Hospital General y Consultorio de Especialidades, para las pruebas hematológicas, coagulación, química sanguínea, hemocultivo, bacteriología y pruebas especiales, actualmente se cuenta con 12 equipos automatizados de tecnología amigable con el medio ambiente, por el empleo de pequeñas cantidades de reactivos. Los químicos generados se vierten al alcantarillado, pretratados con soluciones de lavado acidas-básicas para su neutralización. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

La sangre generada en laboratorios es dispuesta como desecho bioinfeccioso en contenedores de embalaje rojos. En el Laboratorio de Anatomía Patológica se cuenta con cuatro equipos automatizados (Ver Figura 1.4), los cuales son utilizados para procesamiento de

muestras, estos generan residuos químicos que no se logran ser tratados. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)



*Figura 1.4. Equipos automatizados de laboratorio clínico y anatomía patológica. Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)*

Las aguas residuales provenientes de la Planta de Tratamiento del Hospital General y aguas sin tratar del Consultorio de Especialidades, Lavandería Central, Alimentación y Dietas son descargadas en el colector público de ANDA, que atraviesa el área de parqueos del Complejo Hospital General, conduciendo las aguas residuales procedentes de la red pública desde la 25 Avenida Norte y descargando en pozo de visita del Centro de Gobierno. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

En la Figura 1.5 se presenta la ubicación de descargas de aguas residuales del complejo hospital general.

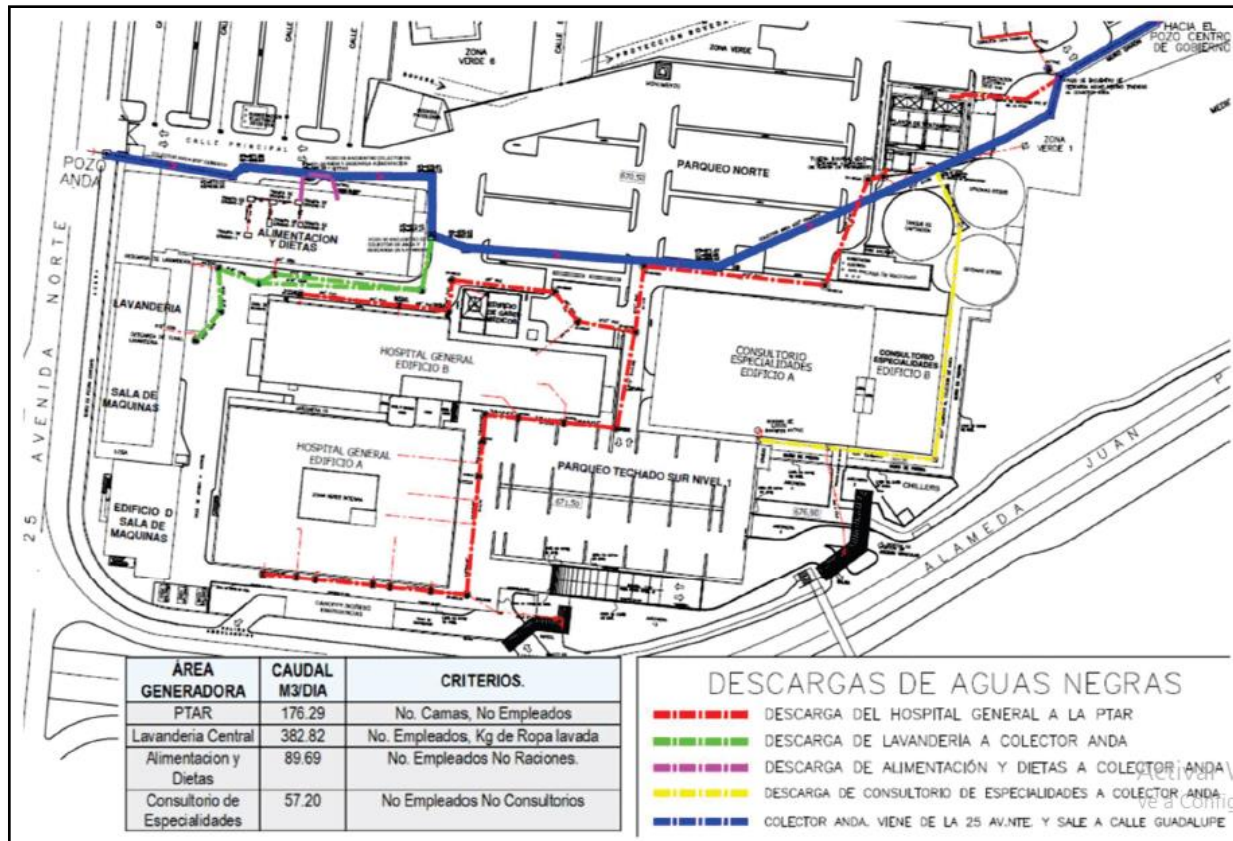


Figura 1.5. Ubicación de descargas de aguas residuales y sus valores de caudal del complejo hospital general Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social)

## CAPÍTULO 2. Desechos químicos generados del Hospital General del ISSS.

### 2.1. Generalidades de los químicos.

En la actualidad existen diferentes tipos de residuos hospitalarios generados en todas las áreas de atención, estos residuos se clasifican en residuos no peligrosos y peligrosos, de acuerdo a la siguiente figura:

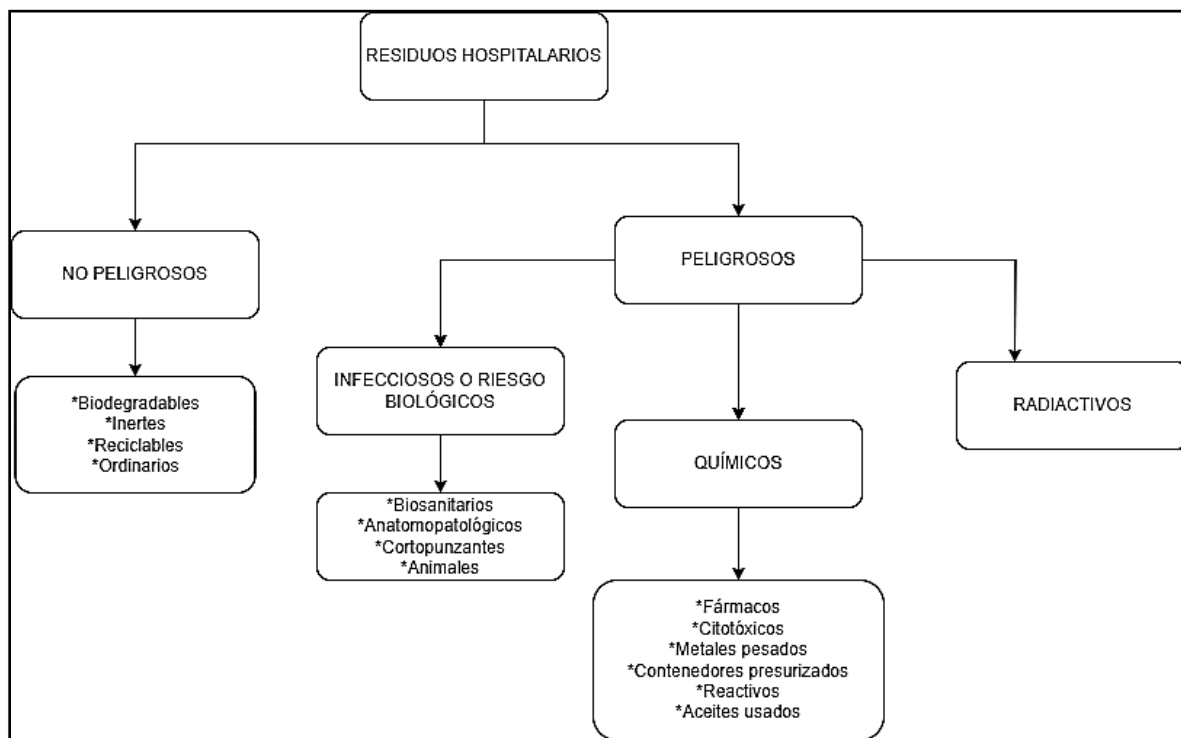


Figura 2.1. Químicos residuales hospitalarios. Fuente: (Pineda & Johan A, 2016)

De acuerdo a lo que se presenta en la figura 2.1, los residuos con algún tipo de peligrosidad incluyen tres categorías: los residuos infecciosos, los residuos químicos y los residuos radioactivos. Los residuos hospitalarios pueden producir contaminación y enfermedades si no se los maneja adecuadamente.

En hospitales de algunos países en desarrollo, estos residuos se mezclan y queman en incineradores de baja tecnología y alto grado de contaminación, o bien a cielo abierto sin ningún tipo de control. Actualmente se sabe que la incineración de residuos hospitalarios genera grandes cantidades de dioxinas, mercurio y otras sustancias contaminantes. Estas sustancias van a parar al aire donde pueden llegar a transportarse por miles de kilómetros y contaminar el ambiente.

En la Tabla 2.1, se detallan los desechos químicos generados en el Hospital ISSS y su procedencia.

*Tabla 2.1. Residuos generados en el hospital del ISSS y sus usos.*

<b>Desechos Químicos</b>	<b>Procedencia</b>
Formalina	Conservación de las muestras de tejidos, órganos y cadáveres
Xileno	Preparaciones de muestras histológicas y citológicas.
Alcohol etílico	Preparación de muestras en equipos.
Alcohol metílico	Preparación de muestras en equipos.

*Adaptado de: ((ENMT), III, & Innovación., 2010)*

### **2.1.1. Formalina**

Es la solución acuosa del Formaldehído (Formalina), también llamado formol. Es un aldehído que se presenta a temperatura ambiente en forma de gas incoloro de olor acre y sofocante. Su número CAS es 50-00-0 y su número EINECS 200-001-8. ((ENMT), III, & Innovación., 2010)

Es un compuesto bastante reactivo e higroscópico. Polimeriza fácilmente, especialmente en presencia de trazas de impurezas polares (ácidos, bases). Existe como hidrato y

polietilenglicol en agua a temperatura ambiente. Se mezcla con metanol y ciertos estabilizadores para lograr retardar o inhibir esta polimerización.

El formaldehído se oxida lentamente en el aire y forma ácido fórmico, dióxido de carbono y agua. Reacciona con oxidantes fuertes, ácidos y bases.

Es altamente inflamable y en ciertas concentraciones puede formar una atmósfera de gas explosiva. Las propiedades fisicoquímicas del Formaldehido (Formalina), se presentan a continuación:

**Tabla 2.2.** Propiedades fisicoquímicas del formaldehído.

Fórmula química	HCHO
Fórmula química desarrollada	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \end{array}$
Masa molecular	30.03 g/mol
Densidad	0.816 g/cm <sup>3</sup> a -20 °C
Densidad de vapor (aire=1)	1.04-1.06
Tensión de vapor	517-519 kPa a 25°C
Punto de ebullición	-19°C
Punto de fusión	-92°C
Temperatura de autoignición	424°C
Límites de explosividad en aire <ul style="list-style-type: none"> <li>• Límite inferior</li> <li>• Límite superior</li> </ul>	7% 73%
Punto de inflamación de soluciones acuosas al 37% de formaldehído <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin metanol</li> <li>• 15% de metanol</li> </ul>	83°C 50°C
Umbral olfativo	0.05-1.00 ppm

*Adaptado des ((ENMT), III, & Innovación., 2010)*

La tabla 2.1 presenta un conjunto de propiedades fisicoquímicas del formaldehído, uno de los químicos residuales del hospital del ISSS.

### **2.1.1.1. Formas de Presentación**

Se comercializa como solución acuosa en varias concentraciones entre el 30 y el 55 % en peso. Además, para inhibir la polimerización de éste, a la disolución se le agrega metanol en una concentración en peso del 0.5 - 15 %.

En el ámbito sanitario, habitualmente, se utilizan disoluciones con un 37 % de formaldehído y un 0.5 – 1.5 % de metanol. Se debe distribuir en recipientes de acero inoxidable, materiales galvanizados y, en su mayoría, en envases de polietileno. ((ENMT), III, & Innovación., 2010)

### **2.1.1.2. Usos en el ámbito sanitario.**

El formol se utiliza para fijación de muestras de tejidos, esta técnica consiste en la interrupción de los procesos de degradación que aparecen tras la muerte celular, pero de tal forma que se conserve la arquitectura y composición del tejido como se encontraba en el organismo vivo. De esta forma, se puede estudiar el tejido y realizar diagnósticos empleando técnicas de anatomía patológica. El formol posee propiedades desinfectantes por lo que también se utiliza para conservar las muestras de tejidos, órganos o incluso cadáveres.

El formaldehído, también se utiliza como esterilizante, en autoclaves específicos y como desinfectante de alto nivel en limpiezas superficiales, junto con otros aldehídos, aunque estos dos usos no son habituales en los servicios de salud.

#### **2.1.1.3. Áreas de exposición**

Se utiliza principalmente en servicios de anatomía patológica, en quirófanos y salas de partos, centros de Salud, ambulatorios, consultas o gabinetes de especialidades donde se obtienen muestras que precisan conservación en formol (dermatología, ginecología, etc.).

En anatomía patológica es donde se procesan todas las biopsias que se recolectan es por ello que acá es donde existe una mayor probabilidad de exposición.

#### **2.1.1.4. Efectos a la salud**

Es una sustancia omnipresente en el medio ambiente como resultado de procesos naturales y artificiales (oxidación fotoquímica de compuestos orgánicos volátiles en la troposfera, emisiones de algunas bacterias, algas y vegetales, primeros estadios de descomposición, combustiones de carburantes, etc.). Además, está presente de forma natural en pequeñas cantidades en el organismo al producirse durante el metabolismo normal.

La inhalación de formaldehído a muy altas concentraciones (se puede considerar que por encima de 20 ppm) provoca severa irritación del tracto respiratorio, llegando a provocar incluso la muerte. Por ello, la concentración actualmente cuantificada como peligrosa para la vida y la salud (IDHL) es de 20 ppm. En humanos, se han reportado graves úlceras en el aparato digestivo tras la ingestión de formaldehído al 37 %. ((ENMT), III, & Innovación., 2010)

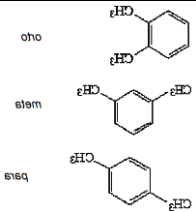
Respecto a las exposiciones periódicas, los efectos tóxicos se observan en las zonas de contacto. Ciertos estudios realizados en grupos de trabajadores mencionan una disminución de la capacidad pulmonar, de lesiones en las mucosas nasales y una asociación con ciertos síntomas (tos, rinitis, dolor de pecho). Se han descrito efectos crónicos, como edema pulmonar y neumonitis e incluso alguna alteración cardiaca. Aun así, no se puede asegurar la relación directa de estos signos con el formaldehído.

### **2.1.2. Xileno**

Los xilenos o xiloles pertenecen a la familia de los hidrocarburos aromáticos. A temperatura ambiente son unos líquidos incoloros, de olor dulce, perceptible a concentraciones del orden de 1 ppm, poco volátil y prácticamente insoluble en agua, pero solubles en la mayoría de los disolventes orgánicos. Existen tres isómeros del xileno según la posición relativa de los grupos metilo en el anillo de benceno: orto- (o-), meta- (m-) y para- (p-). Son también conocidos por 1,2-dimetilbenceno, 1,3-dimetilbenceno y 1,4-dimetilbenceno, respectivamente. Es una mezcla de un 60 – 70 % de m-xileno, 10 – 25 % de p-xileno, 10 – 20 % de o-xileno, 6 – 10 % de

etilbenceno y pequeñas cantidades de otros hidrocarburos, aunque estas proporciones pueden variar en función del suministrador. ((ENMT), III, & Innovación., 2010)

**Tabla 2.3.** Propiedades fisicoquímicas del Xileno.

Fórmula química	$C_8H_{10}$
Fórmula química desarrollada	
Masa molecular	106.16 g/mol
Densidad	0.880 (orto) 0.864 (meta) 0.861 (para)
Densidad de vapor (aire = 1)	3.7
Tensión de vapor	1.33 kPa a 31.2 °C (orto) 1.33 kPa a 28.3 °C (meta) 1.33 kPa a 27.3 °C (para)
Punto de ebullición	144.4 °C (orto) 139.1 °C (meta) 138.4 °C (para)
Punto de fusión	- 25 °C (orto) - 47.4 °C (meta) 13.4 °C (para)
Temperatura de autoignición	460 °C (orto) 530 °C (meta y para)
Límites de explosividad en aire - límite inferior - límite superior	1 % 6 % (orto); 7 % (meta y para)
Punto de inflamación	27 °C (orto y para) 29 °C (meta)
Umbral olfativo	1.00 ppm

Fuente: ((ENMT), III, & Innovación., 2010)

En la tabla 2.3 presenta un conjunto de propiedades fisicoquímicas del formaldehído, uno de los químicos residuales del hospital del ISSS.

En las condiciones normales de uso, los xilenos son estables. Reaccionan violentamente con oxidantes fuertes como el ácido nítrico. Los metales de uso común no reaccionan con los xilenos. Son buenos disolventes de las grasas, ceras, resinas, etc. Ciertos cauchos y materiales plásticos no son apropiados para el contacto con xileno (caucho natural, butilo, nitrilo,

policloropreno, polietileno, etc). Pueden generar cargas electrostáticas como resultado de la fricción o agitación.

#### **2.1.2.1. Clasificación.**

El almacenamiento de xileno se debe realizar en recipientes de seguridad de acero o aluminio. Usar vidrio para su almacenamiento requiere de una carcasa metálica resistente y convenientemente ajustada. El vidrio se utiliza habitualmente para la manipulación de pequeñas cantidades de xileno. El xileno se utiliza como diluyente de pinturas y barnices, en productos farmacéuticos, fabricación de insecticidas, en la industria del caucho, como aditivo de alto octanaje en combustibles de aviones, en la síntesis de colorantes y en la producción de ácidos y anhídridos ftálicos.

#### **2.1.2.2. Áreas de exposición**

Se utiliza en el ámbito sanitario para los servicios que brinda la unidad de anatomía patológica, para tinción de muestras y preparación de pruebas histológicas y citológicas. En estos servicios se realiza el diagnóstico en muestras de biopsias o citologías aplicando técnicas de histoquímica, inmunohistoquímica e inmunofluorescencia.

En el procesado de las diferentes muestras citológicas (orinas, esputos, líquido amniótico, cefalorraquídeo, punciones, etc.), solamente existe un riesgo de exposición al químico en estudio

durante el aclarado en la batería de tinciones y el montaje de los cubreobjetos, ya que no se realiza el proceso de inclusión.

### **2.1.2.3. Efectos a la salud.**

La toxicidad aguda del xileno es similar que posee el benceno y la mayoría de los hidrocarburos líquidos destilados a menos de 300°C. Al ser un narcótico, afecta al sistema nervioso central con solo inhalarlos. Sus síntomas más frecuentes son cefalea, fatiga, mareo, sensación de borrachera, temblores, disnea, náuseas y vómitos.

Este químico disuelve los lípidos de la piel y pueden producir dermatitis irritativa, por ello la inmersión en las manos durante 20 minutos provoca una sensación de quemazón y eritema. En los ojos puede causar irritación de la córnea y conjuntivitis. Su ingestión puede causar dolor abdominal, náuseas, vómitos, diarreas, depresión en el sistema nervioso central, ebriedad y neumopatía por inhalación. ((ENMT), III, & Innovación., 2010)

### **2.1.3. Alcohol Etílico**

#### **2.1.3.1. Descripción**

El etanol es un tipo de compuesto químico pertenece a la familia de los alcoholes. Es un líquido incoloro e inodoro con un sabor ligeramente amargo, y es ampliamente utilizado en todo el mundo para una variedad de propósitos. A una situación de presión y de temperatura normal, se caracteriza por ser un líquido incoloro e inflamable en un punto de ebullición de 78° C. Se suele usar como disolvente y en la elaboración de bebidas alcohólicas.

Dependiendo de la bebida alcohólica que lo posea, el etanol estará acompañado de diferentes sustancias químicas que le aportarán un color, un olor y un sabor. Suele usarse como antiséptico y fungicidas, pero no destruyen las esporas bacterianas. Se produce mediante la fermentación de azúcares y almidones por medio de levaduras.

**Tabla 2.4.** *Propiedades fisicoquímicas del alcohol etílico.*

<b>Propiedades fisicoquímicas</b>	
Punto de inflamación	14°
Punto de ebullición	78.3°
Punto de fusión	-114°C
Temperatura de auto ignición	365°
Presión de vapor	(20°C) 59,2 mbar
Densidad relativa	0.79
Solubilidad	Miscible con agua
Viscosidad	1.13 cP
pH	Neutro

*Fuente:* ((ENMT), III, & Innovación., 2010)

En la tabla 2.4 presenta un conjunto de propiedades fisicoquímicas del formaldehído, uno de los químicos residuales del hospital del ISSS.

### **2.1.3.2. Usos**

Es utilizado como consumo humano, en la fabricación de bebidas alcohólicas, como el vino, la cerveza y los licores. También se usa para fabricar desinfectante ya que es eficaz y se utiliza en soluciones para desinfectar heridas y superficies. Como combustible se usa en mezclas

con gasolina como biocombustible, en la industria se utiliza en la producción de productos químicos, solventes y productos farmacéuticos. En el área dermofarmacéutica a menudo se encuentra en productos cosméticos y de cuidado personal, como perfumes y lociones. En el área sanitaria se utiliza en anatomía patológica para preparación de muestras y es utilizado en los equipos que procesan estas muestras.

#### **2.1.4. Alcohol Metílico**

##### **2.1.4.1. Definición**

También conocido como metanol o alcohol de madera, es un compuesto químico con la fórmula  $\text{CH}_3\text{OH}$ . El metanol es tóxico para los seres humanos y no debe ser consumido ni ingerido de ninguna forma, ya que puede causar graves problemas de salud, incluyendo la ceguera y la muerte. Se produce a partir de diversas fuentes, siendo las más comunes la destilación de la madera (de ahí el nombre "alcohol de madera") y la producción a partir de gas natural o subproductos del petróleo. La producción comercial se realiza a gran escala mediante procesos químicos.

El metanol se utiliza para producir una variedad de sustancias químicas adicionales, entre las que se encuentra el ácido acético. Usado principalmente como un disolvente industrial para facilitar la producción de tintas, resinas, adhesivos y colorantes. También se usa como disolvente para la fabricación de ingredientes y productos del área farmacéutica, como medicamentos para el colesterol, estreptomycin, vitaminas y hormonas.

El metanol tiene otros usos como combustible para vehículos y embarcaciones. Se puede mezclar con gasolina para producir un combustible eficiente, conocido como éter butílico terciario de metilo (MTBE), este puede generar emisiones más bajas que la gasolina convencional. El metanol también se usa en el biodiésel que es un combustible renovable creado a partir de grasas animales o plantas que puede emplearse en lugar del combustible convencional o mezclarse con él.

La OSHA supervisa y regula la exposición al metanol en entornos industriales y establece los límites de exposición permisibles para proteger la seguridad de los trabajadores. Entre sus usos se tiene el poder anticongelante, este posee propiedades químicas que le permiten reducir el punto de congelación de los líquidos de medio acuoso y aumentar su punto de ebullición. Por ello se usa como un producto anticongelante en el líquido limpiaparabrisas, para evitar que el líquido de limpieza se congele. También se inyecta en las tuberías de gas natural, para disminuir el punto de congelación del agua al transportar gas y petróleo. El metanol se genera naturalmente en muchos alimentos, incluso en frutas y verduras. En la dieta ayuda a regular la actividad genética humana. También se produce en el sistema digestivo humano para facilitar el metabolismo de los alimentos.

#### **2.1.4.2. Aplicaciones.** (Química Universal, 2020)

El metanol tiene varios usos. Es un disolvente industrial y se emplea como materia prima en la fabricación de formaldehído. También se emplea como anticongelante en vehículos,

combustible de estufas de acampada, solvente de tintas, tintes, resinas, adhesivos, biocombustibles y aspartame. El metanol puede ser también añadido al etanol para hacer que este no sea apto para el consumo humano (el metanol es altamente tóxico) y para vehículos de modelismo con motores de combustión interna.

## **2.2. Impacto medioambiental generado por la mala disposición de los químicos residuales en el lugar de estudio.**

La mala disposición de los químicos residuales en estudio trae consigo consecuencias ambientales difíciles de reparar. La Formalina se ha clasificado como un compuesto altamente cancerígeno, el Xileno y los alcoholes etílico y metílico, como compuestos altamente tóxicos, por ello la gestión de sus residuos deben ser estrictos y efectivos porque de no serlo, generaría un impacto ambiental que afectaría al ecosistema y a todas las formas de vidas.

La presencia de formalina en el ambiente se puede generar por vía natural, esto resulta como consecuencia de la actividad vegetal, emisiones de incendios forestales, también se da por oxidación fotocatalítica de metano o, en mayor cantidad, como subproducto de actividades humanas. Los distintos tipos de residuos generados durante los trabajos con xileno deberán gestionarse de manera separada en contenedores específicos para residuos de disolventes orgánicos no halogenados, etiquetados según la normativa sobre residuos peligrosos. Los envases, embalajes y restos de derrames, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos contenidos. Al no tratar correctamente con los desechos de los químicos en estudio resultan aspectos ambientales que generan impactos ambientales fuertes.

En la tabla 2.5 ofrece un análisis exhaustivo de los aspectos e impactos ambientales asociados a diversas sustancias químicas.

*Tabla 2.5. Detalle de impactos ambientales generados por las sustancias.*

<b>ASPECTOS AMBIENTALES</b>	<b>IMPACTOS AMBIENTALES</b>
<b>Residuo peligroso</b>	Contaminación del suelo
	Contaminación del agua
	Muerte de la población acuática
<b>Emisiones de gas</b>	Destrucción de la capa de ozono
	Efecto invernadero
<b>Generación de aguas residuales</b>	Riesgo para la salud humana
	Muerte de especies acuáticas

### **2.3. Composición de descarga producida por el Hospital General del ISSS.**

Departamento Anatomía Patológica es la unidad funcional que realiza el análisis morfológico de piezas, tejidos, células, fluidos y secreciones del cuerpo humano, con el objetivo de evaluar anomalías presentes en la estructura de esas muestras, dicho análisis tiene la finalidad de prevenir, diagnosticar y establecer la evolución clínica además del pronóstico para los diversos problemas de salud que pueden afectar los pacientes, asesorando al médico para el correcto tratamiento y conocimiento de la enfermedad.

Con base en la Norma de Observancia obligatoria, se presenta un extracto de interés sobre el envío de muestras al departamento de Patología del ISSS.

### **2.2.1. Requisitos para el envío de muestras:**



Toda muestra de tejido u órgano que sea enviado al Departamento de Anatomía Patológica, después de obtenerla debe colocarse de manera inmediata en Formalina. La Formalina debe cubrir de manera completa la muestra, e idealmente debe hacerlo a razón de 20 volúmenes por el tamaño de la muestra a fijar. El tiempo de fijación ideal no debería ser menor a 6 horas ni exceder las 72 horas, considerando que la calidad de los resultados podría ser afectada si este lapso establecido no se cumple o se prolonga.

En el caso de frotis y extendidos, las láminas deberán ser sumergidas después de su elaboración en alcohol etílico, o ser rociadas con una solución alcohólica en aerosol similar a la que se aplica para la fijación de las citologías cervicovaginales. Cada frasco deberá contener muestras de una sola región o sitio anatómico, la cual deberá estar debidamente identificada, a través de una viñeta que incluya los datos personales. Los frascos para el traslado de muestras disponibles para tal fin son de polipropileno idealmente transparentes, de boca ancha y con tapón de rosca, resistentes a golpes. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social, 2021)

### **2.3.2. Maquinaria existente en el Departamento de Patología.**

Es importante conocer la maquinaria utilizada ya que de ella resultan la mitad de las aguas residuales que estamos estudiando. En total son 2 tipos de máquinas las que se utilizan.

**Tabla 2.6.** Equipo utilizado en el área de Patología del Hospital General de ISSS.

MÁQUINA	PROCESADOR DE TEJIDOS ASP6025S	TINCIÓN LEICA ST5020
Uso	Fijación, deshidratación, infiltración con intermedio e infiltración de parafina de muestras de tejido humano	Utilizado únicamente para realizar tareas de tinción de secciones delgadas de muestras de tejidos o citológicas.
Imagen		
Reactivos que utiliza	<p>Formalina 37%</p> <p>Etanol al 100%</p> <p>Etanol con agua destilada</p> <p>Metanol al 50%</p> <p>Xileno</p> <p>Parafina</p>	Tintes.

Fuente: (Instituto Salvadoreño del Seguro Social, 2021)

La tabla 2.6 detalla el equipamiento empleado en el área de Patología del Hospital General del ISSS. Se presenta una lista de los diferentes tipos de equipos y los reactivos que utilizan para su funcionamiento.

### **2.3.3. Composición de descarga generada por Planta de Tratamiento de Hospital General.**

El titular de una actividad, obra o proyecto que descargue sus aguas residuales de tipo especial al sistema de alcantarillado sanitario debe cumplir con lo establecido en la normativa del sistema de alcantarillado en su versión vigente de agua residual de tipo especial para descarga al alcantarillado sanitario. De acuerdo con normativa ANDA, se debe verificar los siguientes parámetros generales:

- i. Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg/L
- ii. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg/L
- iii. Sólidos Suspendidos Totales (SST) mg/L
- iv. Sólidos Sedimentables (SS) mL/L
- v. Aceites y Grasas (mg/L)
- vi. Potencial de Hidrógeno (pH) Unidades de pH 6.0 - 9.0
- vii. Coliformes fecales

Compuestos especiales a identificar para Servicios Hospitalarios: Cobalto, Compuestos fenólicos sintéticos, Fosfatos, Mercurio, Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno total, Plata, SAAM, Turbiedad. (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, 2004).

A partir de dichos requerimientos se presentan los resultados más recientes de los vertidos realizados por la planta de tratamiento de aguas residuales.

Como parte del seguimiento del sistema se tomaron las muestras correspondientes a la salida de la PTAR, en etapa de descarga de tanque de desinfección final, esto con el objetivo de analizar la calidad de aguas residuales que se descargan al alcantarillado sanitario, para lo cual, es posible observar que los valores se encuentran dentro de los rangos solicitados por Normativa ANDA, lo cual indica que el sistema opera adecuadamente. Ver en Anexo 1 los análisis realizados por el laboratorio CCCI acreditado por la OSA.

A partir de los registros de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se obtienen valores de descarga de flujo diario, los cuales mantienen el monitoreo de los caudales de descarga que realiza la PTAR. El sistema cuenta con un medidor de flujo electromagnético que registra las descargas producidas por el Sistema de Tratamiento hacia los colectores de ANDA. Cuenta con la capacidad de registrar flujo instantáneo y acumulado.

Debido a que los procesos de compra (Procesos de Libre Gestión para Servicio de Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Químicos Residuales para Hospital General) a partir de 2021 han quedado desiertos por falta de ofertantes, se han mantenido de forma acumulada los residuos en los Centros de Atención. En promedio se descartan 660 litros de químicos por mes, estos se acopian en una caseta aislada en sector norte de parqueo del recinto. Los químicos se almacenan en bidones plásticos de 5 galones, separan cada químico para no mezclarlos entre ellos.

Antecedentes del tratamiento actual de los residuos químicos producidos por el Hospital General del ISSS.

Los desechos bioinfecciosos son aquellos desechos impregnados con sangre, secreciones y otros fluidos de pacientes y animales, originados durante las diferentes actividades de atención a la salud, procedimientos de diagnóstico, tratamiento e investigación que contienen agentes microbiológicos con capacidad de causar infección y efectos nocivos a los seres vivos expuestos a ellos y al ambiente. Se incluyen los desechos infecciosos, punzo cortantes y patológicos.

En el Complejo Hospital General, el manejo de desechos bioinfecciosos se realiza en base al “Reglamento Técnico Salvadoreño Para El Manejo de Los Desechos Bioinfecciosos” RTS, 13.03.01:14. Entre los desechos bioinfecciosos generados, se encuentran jeringas, gasas, hisopos, guantes, baja lenguas y muestras de Laboratorio de Anatomía Patológica, sangre de laboratorios clínicos, entre otros, los cuales son envasados en bolsa roja. El Hospital General produce en promedio 4,397 kg/mes de desechos bioinfecciosos, de acuerdo con su clasificación por tipo 3,898 Kg, corresponden a infecciosos, 249 Kg, a punzo cortantes y 250 Kg, a los anatomopatológicos; estos desechos son procedentes de las áreas de Laboratorios Clínicos y Anatomía Patológica, encamados, Consultorios, Salas de Operaciones, Curaciones etc. En promedio anual el Hospital General produce 52,764 Kg de desechos bioinfecciosos.

#### **2.3.4. Fases del manejo de los desechos bioinfecciosos**

Para el manejo de desechos bioinfecciosos, se cuenta con un Plan, en base a lineamientos de Ministerio de Salud Pública, éste se divide en las fases de manejo externo y manejo interno. Planes de manejo de desechos bioinfecciosos aprobados por Ministerio de Salud Pública.

El manejo interno se inicia con la segregación de los desechos por parte de personal médico y paramédico en el sitio de su generación dependiendo de sus características y su

peligrosidad, utilizándose envases ubicados para tal fin, sean estas bolsas rojas para desechos infecciosos o envases rígidos para desechos punzo cortantes, los cuales posteriormente son colocados en contenedores de color rojo. Posteriormente los desechos se colocan en contenedores sellados de color rojo, siendo posteriormente trasladados a las áreas de acumulación que son lugares previamente seleccionados dentro del centro de atención y cercanos al servicio clínico (acopio o cuarto séptico), en espera de su traslado al Centro de Almacenamiento Central Temporal, esta actividad es efectuada por el personal de limpieza.

Los desechos son trasladados diariamente del área de acumulación hacia el Centro de Almacenamiento Central Temporal, por el personal de limpieza designado para esta actividad, utilizando carretillas por las rutas debidamente señalizadas y en los horarios establecidos. Para ello se tienen rutas de desechos bioinfecciosos, el Centro de Almacenamiento Central Temporal es una infraestructura destinada para almacenar los desechos bioinfecciosos en forma segura hasta su entrega para el tratamiento y disposición final. El Centro de Almacenamiento Central Temporal Local, no es exclusivo para los desechos bioinfecciosos, ya que en él también se almacenan recipientes conteniendo residuos químicos líquidos de Laboratorio de Anatomía Patológica.

### **2.3.5. Manejo externo.**

Finalmente, los desechos bioinfecciosos son retirados del Centro de Almacenamiento Central Temporal y transportados por la empresa Corporación HR SA de CV, para su tratamiento y disposición final en el relleno sanitario de Nejapa. Permisos del Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Salud Pública de la empresa contratista para transporte de

desechos bioinfecciosos. Los desechos patológicos son entregados al servicio de recolección de desechos bioinfecciosos, con excepción de extremidades superiores e inferiores y otros miembros corporales externos que son enterrados en el Cementerio la Bermeja de acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Cementerios. Permiso recibo para inhumar miembros corporales.

**Tabla 2.7.** Composición de los desechos peligrosos del Complejo Hospital General del ISSS.

<b>COMPUESTO</b>	<b>PESO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Desechos infecciosos	4,098 kg Mensuales.	Guantes, algodón, baja lenguas, descartables plásticos contaminados, torundas, compresas.
Desechos Punzocortantes	285 kg Mensuales.	Jeringas, agujas hipodérmicas, hisopos cristalería contaminada.
Desechos Patológicos	257 kg Mensuales.	Muestras patológicas, extremidades superiores e inferiores y otros miembros corporales externos.
Químicos residuales de Laboratorio de Anatomía Patológica: Xileno, Formalina, Alcohol Etílico y Alcohol Metílico.	660 L mensuales.	Se contaba con un contrato con la empresa GEOCYCLE EL SALVADOR, que brindaba servicios de transporte, tratamiento y disposición final de los químicos residuales.

Fuente: (SES.)

La tabla 2.7 presenta un análisis detallado de la composición de los desechos peligrosos generados en el Complejo Hospital General del ISSS. Se clasifican los desechos en diferentes categorías, y se presentan el peso que se generan de los mismos.

Se recopilaron datos proporcionados de la Oficina de Gestión de Relacionamiento con Proveedores (OGYRP) y de la Unidad Ambiental del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS), para lo cual fue posible conocer sobre el historial de tratamientos y disposiciones realizadas para los químicos residuales del departamento de Patología de Hospital General:

i. Inicialmente se realizaron procesos de acumulación dado que eran volúmenes pequeños, pero con el transcurso de la acumulación de recipientes se procedió a realizar descargas controladas en la Planta de Tratamiento, sin embargo, este procedimiento afectó el sistema de reactor biológico por variaciones de pH y desestabilización de biomasa, lo cual fue reportado por personales de mantenimiento y monitoreo.

ii. Posteriormente se realizaron servicios realizados por Geocycle El Salvador en el Hospital General (San Salvador) y Hospital Regional de Santa Ana del Instituto Salvadoreño del Seguro Social, durante el año 2019 y 2020, relacionado al “Servicio de Transporte, Tratamiento y Disposición Final de Químicos Residuales para Hospital General y Hospital Regional de Santa Ana” Cabe destacar que los servicios brindados son referentes procesos de Libre Gestión.

iii. Actualmente, los procesos de compra a partir de 2021 han quedado desiertos por falta de ofertantes, lo que implicando el mantener de forma acumulada los residuos en los Centros de Atención.

A partir de la información recopilada, es posible destacar un tratamiento: “incineración de químicos residuales” ejecutado por la empresa “Geocycle El Salvador” durante el periodo de 2019-2020. Exponen a grandes rasgos el proceso de la cementera para la destrucción de la disposición o la gestión de residuos por medio de planta de cemento, mencionando que es la única empresa a nivel nacional con el permiso para el procesamiento de químicos residuales, asimismo, señalan que cuentan con todos los permisos requeridos por Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

Los factores que limitaron la participación en los procesos de compra, fue por cambio de gerencia en la empresa, quien en su momento indico a la suspensión del servicio, ya que según a

criterio de Geocycle, el ISSS había entregado un producto no adecuado para el procesamiento en hornos de cemento. El informe de Gestión de Químicos Residuales de Fecha 6 de septiembre de 2022, realizado en seguimiento a procesos declarados desiertos para el servicio de recolección, Transporte, Tratamiento y Disposición Final de los Químicos Residuales en la búsqueda de empresas que puedan ofertar el servicio requerido.

Las acciones efectuadas para conocer el proceso de recolección con el que cuentan el ISSS y MINSAL, conocer que empresas prestan este servicio a las dos instituciones y cuentan con los permisos correspondientes, a efectos de evaluar la posibilidad de un proceso unificado.

La reunión con el personal responsable de las áreas donde se generan los químicos residuales en el ISSS (Patología Hospital General y Hospital Regional de Santa Ana): Informan sobre la gestión que han realizado para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los químicos residuales, como las cantidades de químico que tienen en resguardo. Las reuniones con personal de las Direcciones de Hospitales de la red nacional del MINSAL, para conocer su proceso de transporte, tratamiento y disposición final de los químicos residuales:

- i. Su gestión de resguardo de químicos residuales lo tienen de varios años.
- ii. No se dispone de un contrato de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los químicos residuales resultantes del área de patología.
- iii. El ministerio de medio ambiente les ha concedido un periodo determinado para realizar su proceso de disposición final.
- iv. Las empresas que le brindan servicio son las mismas que están contratadas por el instituto para la recolección de desechos sólidos bioinfecciosos.

Las acciones tomadas por Unidad Ambiental del ISSS para solventar la situación con relación a las opciones de tratamientos locales son:

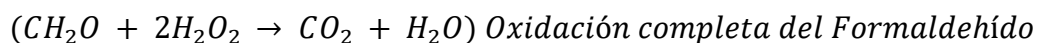
1. Incineración: Se sostuvieron reuniones con la empresa encargada de darle mantenimiento a las calderas del Hospital General y con el proveedor de combustible siendo estos últimos quienes señalaron el riesgo potencial debido al tipo de químicos residuales que se pretenden incinerar, por lo que esta alternativa quedo descartada.

2. Tratamiento en conjunto con aguas residuales: Dado que el Instituto tiene el compromiso de construir un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales provenientes de la sección alimentación y dietas, se ha planteado incluir un módulo de pretratamiento para estos químicos residuales y que después se incorporen el caudal de aguas crudas a ser tratados mediante el sistema biológico que se pretende. (Instituto Salvadoreño del Seguro Social, 2021)

## **CAPÍTULO 3. Tratamientos y alternativas de disposición final para los químicos residuales del Hospital General del ISSS.**

### **3.1. Formalina**

La oxidación supercrítica es un tratamiento no convencional desarrollado para la destrucción de residuos orgánicos, especialmente acuosos como vertimientos industriales, lodos y desechos peligrosos que representan un alto riesgo para la salud pública (H.E. Barner, 1992). Este proceso aprovecha las propiedades únicas que adquiere el agua cuando se encuentra por encima de su punto crítico termodinámico (374 °C, 221 bar) (Hermann Weingärtner Prof. Dr., 2005), facilitando así las reacciones de oxidación en ambientes que otros tratamientos convencionales no han tenido éxito (ver Figura 7). Dichas propiedades son causadas principalmente porque los puentes de hidrógeno desaparecen y el agua se comporta como un solvente orgánico (Eric E. Brock, 1998). Al mismo tiempo que la solubilidad del oxígeno aumenta, los compuestos orgánicos se vuelven completamente miscibles, permitiendo que la reacción de oxidación sea completa. Los compuestos orgánicos más tóxicos pueden ser rápidamente oxidados a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O con un tiempo de retención muy corto en agua supercrítica (Christopher J. Martino, 1997).



En general, teniendo una mezcla de líquido y gas en condiciones de equilibrio cuando aumenta de presión y temperatura, la expansión térmica hace que el líquido se vuelva menos denso. En el punto crítico, las densidades de las dos fases se hacen idénticos y la distinción entre ellos desaparece.

Técnicamente, un fluido supercrítico es un gas, pero no un vapor. El término "gas" se refiere a cualquiera de las fases que "se ajusta en volumen al espacio disponible.". En la región de transición de gas a líquido (ver Figura 7), los fluidos supercríticos presentan una combinación de propiedades que los hacen muy apropiados para el desarrollo de nuevos procesos que no pueden llevarse a cabo con líquidos convencionales o disolventes gaseosos (M. D. Bermejo, 2006).

### **3.2. Xileno**

El tratamiento de aguas contaminadas con xileno es una práctica esencial para salvaguardar la calidad del agua y preservar el medio ambiente. El xileno es un contaminante orgánico que puede ser dañino para la salud humana y el ecosistema si no se trata adecuadamente. Algunos métodos comunes para tratar el xileno en el agua son:

#### **3.2.1. Adsorción**

Es un proceso en el que se utiliza un adsorbente, como carbón activado, zeolitas o arcillas modificadas, para eliminar el xileno del agua. El xileno se adhiere a la superficie del adsorbente y se retira del agua.

#### **3.2.2. Oxidación**

La oxidación es un proceso químico que implica la adición de agentes oxidantes, como el peróxido de hidrógeno o el ozono, para descomponer el xileno en productos menos tóxicos y más fáciles de eliminar.

### **3.2.3. Biodegradación**

Algunos microorganismos y bacterias tienen la capacidad de degradar el xileno de manera natural. En la biorremediación, se aprovechan estos microorganismos para descomponer el xileno en aguas contaminadas.

### **3.2.4. Destilación y Extracción**

Son técnicas que se pueden utilizar para separar el xileno del agua. Estos métodos son más adecuados para el tratamiento de aguas con altas concentraciones de xileno.

### **3.2.5. Filtración**

La filtración mediante membranas o filtros puede eliminar partículas de xileno y otras impurezas del agua.

### **3.2.6. Tratamiento de aireación**

La aireación puede ser eficaz para eliminar el xileno volátil presente en el agua al propiciar su evaporación mediante agitación y exposición al aire.

La elección del método de tratamiento dependerá de la concentración de xileno en el agua, las condiciones específicas del sitio y las regulaciones ambientales locales. En algunos casos, se pueden combinar varios métodos de tratamiento para lograr una eliminación más efectiva del xileno y otros contaminantes.

## **3.3. Alcohol Etílico y Alcohol Metílico.**

El tratamiento de agua contaminada con alcohol etílico y alcohol metílico se puede realizar utilizando diversos procesos y tecnologías de tratamiento de aguas, dependiendo de la concentración y la naturaleza de los alcoholes presentes. Se conocen métodos económicos para este proceso, se utiliza una membrana que separa los disolventes de un modo selectivo, con este se reduce la presión de vapor sobre el lado de filtrado de la membrana. Se tienen dos etapas principales: la permeación y la evaporación. Otros métodos que se conocen son:

### **3.3.1. Adsorción**

La adsorción implica el uso de materiales adsorbentes, como carbón activado o resinas intercambiadoras de iones, para eliminar los alcoholes del agua. Los alcoholes se adhieren a la superficie del adsorbente. Esta técnica es efectiva para la eliminación de alcoholes a concentraciones más bajas y se utiliza comúnmente en sistemas de tratamiento de agua potable y residual.

### **3.3.2. Oxidación avanzada**

La oxidación avanzada implica la adición de agentes oxidantes, como el peróxido de hidrógeno, el ozono o el permanganato de potasio, para degradar los alcoholes en el agua en compuestos menos tóxicos. Esta técnica puede utilizarse para tratar aguas con concentraciones moderadas de alcoholes y también puede ayudar a eliminar otros contaminantes orgánicos.

### **3.3.3. Destilación**

Para separar los alcoholes del agua, se puede utilizar la destilación. Esto implica calentar la mezcla de agua y alcohol y luego recoger el vapor generado y condensarlo en un líquido separado.

Esta técnica es eficaz para tratar aguas con concentraciones relativamente altas de alcoholes, como las provenientes de la destilación industrial o procesos químicos.

### **3.3.4. Biodegradación**

En algunos casos, los microorganismos biodegradadores, como las bacterias, pueden consumir los alcoholes en el agua como fuente de carbono y energía. Esto se utiliza en sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales. La biodegradación es especialmente efectiva cuando se trata de aguas con concentraciones bajas a moderadas de alcoholes.

Es importante tener en cuenta que la eficacia del tratamiento depende de varios factores, como la concentración inicial de alcoholes, la presencia de otros contaminantes y las regulaciones locales.

## **CAPÍTULO 4. Caracterización de la Planta de Tratamiento de Aguas del Hospital General del ISSS.**

### **4.1. Planteamiento metodológico para la caracterización de la planta de tratamiento de aguas del Hospital General del ISSS.**

El propósito del presente capítulo es exponer la metodología que se lleva a cabo para la caracterización del actual sistema de tratamiento de aguas residuales del Hospital General del ISSS, en los cuales se detalla la investigación preliminar, visitas de seguimiento y caracterización del sistema de acuerdo con los parámetros de trabajo.

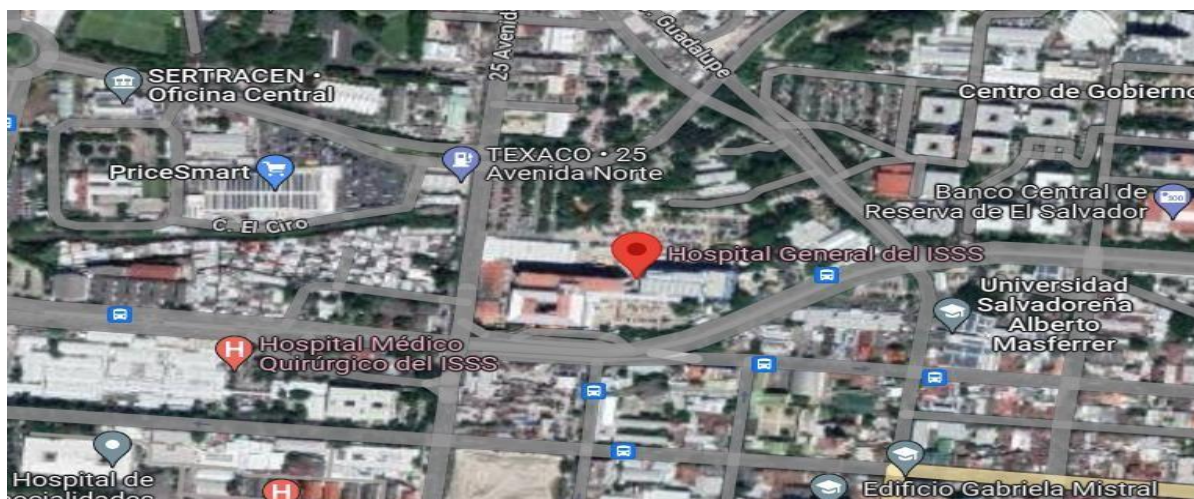
#### **4.1.1. Descripción del sitio de estudio.**

Para la realización del proyecto de forma eficiente y correcta se contará con el apoyo del personal, infraestructura, materiales y equipos necesarios los cuales son detallados en forma general en esta descripción.

Se destaca para ello: visitas de inspección y seguimiento en el sitio de estudio, recorrido de unidades, etapas y registro de información.

A continuación, se detallan las características del sitio de estudio:

- Nombre de la institución: Hospital General del Instituto Salvadoreño del Seguro Social (ISSS).
- Ubicación: Alameda Juan Pablo II y, 25 Avenida Nte., San Salvador. Ver Figura 4.1, referencia de ubicación satelital del Hospital.



*Figura 4.1. Referencia de ubicación geográfica de Hospital General del ISSS.*

Se requiere de una visita en 3 puntos clave de las Instalaciones de Hospital Nacional del ISSS.

- i. Unidad de Patología
- ii. Bodegas de almacenamiento de químicos residuales
- iii. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Dentro de este recorrido se detalla las inspecciones realizadas en área de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Datos del sitio:

- Fuente de abastecimiento agua: Suministro ANDA
- Volumen de agua potable consumida: N/D
- Cantidad de equipos electromecánicos:
  - 3 equipos de aireación con potencia de 10 HP operando en alternancia.
  - 2 equipos de bombeo para cárcamo de ingreso.

- 1 medidor de caudal electromagnético.
- Volumen de agua tratada: Variable, durante la visita se registraban valores puntuales cercanos entre el rango 175 – 250 m<sup>3</sup>/hora.

#### **4.1.2. Descripción del recorrido**

El recorrido se llevó a cabo el jueves 9 de noviembre de 2023. Se realizó un recorrido exhaustivo de las instalaciones de interés: Unidad de patología, bodega de químicos y la planta de tratamiento. Realizando un proceso gradual con relación al recorrido del proceso, es decir, inicio en las instalaciones de Patología, donde se inspeccionan todas las áreas de la unidad, identificando los procesos, químicos y maquinarias empleadas por cada etapa. Posteriormente la bodega de químicos, como primera etapa, se inspeccionan las áreas de resguardo de los contenedores de químicos residuales, constatando su acopio en bidones y contenedores debidamente clasificados dependiendo el tipo de químico.

Como segunda fase se requiere observar las bodegas de suministro y almacenamiento de químicos puros (previos a uso). Finalizando con una inspección en la zona de planta de tratamiento, inspección en reactores de aireación, pasando a la etapa de clarificador y digestor de lodos, finalmente la zona de desinfección por cloro, tanque de contacto y canales de desinfección UV.

### 4.1.3. Visita de Primera Interacción Formal

Tabla 4.1. Descripción de primeras interacciones de visita formal.




REFERENCIA	DETALLE
	<p>Reconocimiento de las Instalaciones del Hospital General del ISSS</p>
	<p>Reunión con el jefe del Departamento de Patología para exponerle la propuesta de tratamiento y solicitar su aprobación para el retiro de muestras.</p>
	<p>Primera Inspección en el interior de las unidades de área de Patología, maquinarias y descartes del departamento</p>
	<p>Inspección del área de acopio de bodega con respecto a los recipientes de químicos residuales</p>

La tabla 4.1 detalla las primeras interacciones observadas durante la visita formal a diversas ubicaciones del lugar de estudio.

Visita de recorrido completo, reconocimiento y caracterización del sitio

Visita realizada para identificar todas las etapas necesarias que intervienen en el proceso de patología, los procesos de descarga y almacenamiento de químicos residuales, así como la identificación y caracterización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

*Tabla 4.2. Recorrido realizado por las instalaciones del Hospital General del ISSS.*

REFERENCIA	DETALLE
<b>DEPARTAMENTO DE PATOLOGÍA</b>	
	<p>Referencia de visita en área de patología, área de recepción de biopsias, punto de partida para el proceso de análisis de las muestras patológicas.</p>
	<p>Reconocimiento de maquinarias empleadas, que demandan mayor consumo de químicos.</p>
	<p>Referencia de descartes realizados en el interior de las unidades, previo al traslado en bodega de acopio central de químicos residuales</p>



(continua...)

Tabla 4.3. Recorrido realizado por las instalaciones del Hospital General del ISSS. (Continúa...)

REFERENCIA	DETALLE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	<p>Inspección en bodega de acopio de químicos residuales</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	<p>Identificación de zonas de acopio de cada químico dependiendo su naturaleza</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL HOSPITAL GENERAL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA PATOLÓGICA BITÁCORAS DE TRANSPORTE DE QUÍMICOS RESIDUALES AL ACOPIO, 2023</th> </tr> <tr> <th>FECHA</th> <th>TIPO DE QUÍMICO</th> <th>CANTIDAD</th> <th>UNIDAD</th> <th>PERSONA</th> <th>DESTINO</th> <th>USUARIO</th> <th>USUARIO</th> <th>USUARIO</th> <th>USUARIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4</td><td>3</td><td>13</td><td>1</td><td>20</td><td>25/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>2</td><td>5</td><td>5</td><td>8</td><td>1</td><td>18</td><td>15/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>5</td><td>8</td><td>2</td><td>20</td><td>15/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>4/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>8</td><td>8</td><td>1</td><td>18</td><td>23/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>6</td><td>4</td><td>8</td><td>10</td><td>2</td><td>22</td><td>5/7/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>7</td><td>4</td><td>3</td><td>9</td><td>1</td><td>17</td><td>10/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>8</td><td>4</td><td>5</td><td>11</td><td>3</td><td>25</td><td>7/8/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>9</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>15/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>10</td><td>7</td><td>4</td><td>22</td><td>2</td><td>37</td><td>20/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>11</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>12</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>13</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>4/0/0023</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td><td>ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO</td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL HOSPITAL GENERAL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA PATOLÓGICA BITÁCORAS DE TRANSPORTE DE QUÍMICOS RESIDUALES AL ACOPIO, 2023										FECHA	TIPO DE QUÍMICO	CANTIDAD	UNIDAD	PERSONA	DESTINO	USUARIO	USUARIO	USUARIO	USUARIO	1	4	3	13	1	20	25/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	2	5	5	8	1	18	15/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	3	5	5	8	2	20	15/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	4	5	1	1	2	2	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	5	4	8	8	1	18	23/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	6	4	8	10	2	22	5/7/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	7	4	3	9	1	17	10/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	8	4	5	11	3	25	7/8/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	9	4	4	4	4	4	15/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	10	7	4	22	2	37	20/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	11	4	4	4	4	4	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	12	4	4	4	4	4	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	13	4	4	4	4	4	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	14										15										16										17										18										19										20										21										22										23										24										25										26										27										28										29										30										<p>Referencia de bitácoras de control de acopio de químicos</p>
INSTITUTO SALVADOREÑO DEL SEGURO SOCIAL HOSPITAL GENERAL DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA PATOLÓGICA BITÁCORAS DE TRANSPORTE DE QUÍMICOS RESIDUALES AL ACOPIO, 2023																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
FECHA	TIPO DE QUÍMICO	CANTIDAD	UNIDAD	PERSONA	DESTINO	USUARIO	USUARIO	USUARIO	USUARIO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1	4	3	13	1	20	25/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
2	5	5	8	1	18	15/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
3	5	5	8	2	20	15/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
4	5	1	1	2	2	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
5	4	8	8	1	18	23/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
6	4	8	10	2	22	5/7/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
7	4	3	9	1	17	10/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
8	4	5	11	3	25	7/8/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
9	4	4	4	4	4	15/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
10	7	4	22	2	37	20/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
11	4	4	4	4	4	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
12	4	4	4	4	4	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
13	4	4	4	4	4	4/0/0023	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO	ISSS - VIDUA, MARINO CASALES Y LUIS ALVARO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	<p>Inspección de bodega de almacenamiento de químicos puros. Suministros de stock que posee Hospital General del ISSS</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

(continúa...)

**Tabla 4.4.** Recorrido realizado por las instalaciones del Hospital General del ISSS. (Continúa...)

REFERENCIA	DETALLE
	<p>Referencia de clasificación de los químicos, resguardados por separado de acuerdo con cada compuesto</p>
	<p>Referencia de ficha de control de abastecimientos de los químicos</p>

Las tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 presentan un desglose del recorrido realizado durante la visita a las instalaciones del Hospital General del ISSS. Se enumeran las diferentes áreas visitadas.

**Tabla 4.5.** Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)	
	<p><b>Punto de partida</b> Recorrido en conjunto con operador de planta, se realizó un recorrido por las etapas para verificar los procesos y maquinarias que componen el sistema de tratamiento</p>

(continúa...)

Tabla 4.6. Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS. (Continua...)

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)</b>	
	<p><b>Pozo de captación (previo ingreso a la PTAR)</b></p> <p>Referencia de pozo de captación previo al ingreso de la planta, en este punto el operador de planta suele realizar inspecciones en el flujo de acceso y aplicar enzimas.</p>
	<p><b>Zona de captación y bombeo.</b></p> <p>Identificación del cárcamo de bombeo, este punto permite la homogenización de las aguas residuales vertidas, así como regular el caudal de ingreso</p>
	<p><b>Zona de Pretratamiento</b></p> <p>Identificación de las etapas de pretratamiento de la PTAR ya que esta cuenta con sistema de desarenador, rejillas y trampa de grasas para dicha etapa, en la cual se suele remover en mayor porcentaje la contaminación física que se encuentra en las aguas crudas (sólidos no biodegradables, arenas, grasas, entre otros).</p>



(continua...)

Tabla 4.7. Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS. (Continúa...)

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)</b>	
	<p><b>Clarificador Secundario</b>                      Verificación de las etapas de Clarificador secundario que permiten la sedimentación del lodo estabilizado, así como una recirculación hacia los tanques reactores y una purga hacia digestor de lodos, cumpliendo los procesos de balance de masa.</p>
	<p><b>Tanque Digestor de Lodos</b>                      Reconocimiento del tanque digestor de lodos, que recibe la purga de lodos procedente del sedimentador secundario, cumple los procesos de digestión de lodo y estos son enviados a un sistema de drenado de lodos por filtros bolsa.</p>
	<p><b>Tanque de desinfección y contacto</b>                      Reconocimiento de etapa de desinfección por cloro, recibe el agua clarificada del sedimentador secundario y realiza la desinfección de patógenos a dosis adecuadas para la descarga del agua tratada.</p>
	<p><b>Desinfección final</b>                      Sistema UV deshabilitado, según indican desde 2021, sin embargo, el canal del equipo permite verificar el flujo de descarga con mayor facilidad, de igual manera es un punto que facilita los procesos de muestreo de agua tratada.</p>

(continua...)

Tabla 4.8. Referencia de recorrido y caracterización de sitios clave en Hospital General del ISSS. (Continua...)

<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)</b>	
	<p><b>Deshidratación de lodos</b></p> <p>A un costado se cuenta con el área de drenado de lodos mediante un mecanismo de filtros bolsa hidrofílicas por dentro para permitir la salida de humedad, e hidrofóbicas por fuera para evitar el ingreso de agua del exterior.</p>
	<p><b>Medición de caudal de agua tratada</b></p> <p>Referencia de medidor de caudal de la Planta de Tratamiento, medidor electromagnético que permite verificar los valores de descarga de agua tratada tanto puntual como acumulativo.</p>

Las tablas 4.6, 4.7 y 4.8 proporcionan una referencia detallada del recorrido realizado y la caracterización de sitios claves de la planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital General del ISSS.

## **CAPÍTULO 5. Diseño para la selección de alternativa para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS.**

### **5.1. Planteamiento metodológico para la selección de alternativas para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS.**

Al existir varios métodos para darles tratamiento a los químicos en estudio, se debe realizar un estudio para determinar el mejor método para cada químico y que a la vez se puedan realizar ensayos de laboratorio.

#### **5.1.1. Elección de alternativa de tratamiento a utilizar para cada químico residual.**

A continuación, se presenta el análisis que se realizó para seleccionar el tratamiento que más se adecúa para tratar las sustancias en estudio.

*Tabla 5.1. Evaluación de Tratamientos para Formalina.*

<b>FORMALINA</b>		
<b>TRATAMIENTO</b>	<b>PROS</b>	<b>CONTRAS</b>
<b>Oxidación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alta eficiencia de transformación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Emisiones de CO<sub>2</sub>.</li> <li>✗ Equipos no disponibles.</li> <li>✗ Descargas de vapor de agua a altas temperaturas.</li> </ul>
<b>Adsorción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El material adsorbente se puede agregar al agua contaminada o colocarse en sistemas específicos diseñados para la adsorción.</li> <li>✓ Materiales adsorbentes pueden regenerarse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Pretratamiento de ajuste de pH.</li> <li>✗ Manejo crítico de residuos.</li> </ul>
<b>Biodegradación</b>	NO APLICA	
<b>Destilación</b>	NO APLICA	
<b>Aireación</b>	NO APLICA	
<b>Filtración</b>	NO APLICA	

La tabla 5.1 proporciona un análisis detallado de los diferentes tratamientos disponibles para la gestión de químicos residuales y cuales son aplicables a la formalina.

**Tabla 5.2.** Evaluación de Tratamientos para Xileno.

XILENO		
TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>Oxidación avanzada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Puede realizarse con Ozono o Peróxido de Hidrógeno.</li> <li>✓ Al ozonizarse forma productos menos tóxicos.</li> <li>✓ Con Peróxido, es más eficaz en presencia de luz ultravioleta o catalizadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Menos efectivo si hay interferencias químicas con otras sustancias presentes.</li> <li>✗ Necesita ajuste extra de pH.</li> </ul>
<b>Adsorción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utiliza adsorbentes comunes.</li> <li>✓ Accesible y económicamente viable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Capacidad de adsorción afectada por pH del agua y presencia de otros componentes.</li> </ul>
<b>Biodegradación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Descompone en sustancias menos tóxicas.</li> <li>✓ Se puede utilizar lodos activados y filtros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Elegir cuidadosamente el microorganismo.</li> <li>✗ Afectado su eficacia por temperatura, pH, otros compuestos y condiciones del sitio.</li> </ul>
<b>Destilación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alta eficacia para concentraciones altas de Xileno.</li> <li>✓ Aprovechamiento de diferencia de puntos de ebullición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Eficacia depende de la concentración.</li> <li>✗ Alto consumo energético.</li> <li>✗ Generación de efluentes.</li> <li>✗ Pretratamiento al agua para eliminar impurezas.</li> </ul>
<b>Aireación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Eficaz para eliminar xileno volátil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Poco efectivo para bajas concentraciones.</li> </ul>
<b>Filtración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Filtrado con carbón activado.</li> <li>✓ Filtrado mediante membrana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Depende de naturaleza y tamaño de partícula.</li> <li>✗ Diseño especial para el Xileno.</li> </ul>

La tabla 5.2 proporciona un análisis detallado de los diferentes tratamientos disponibles para la gestión de químicos residuales y cuales son aplicables al xileno.

*Tabla 5.3. Evaluación de Tratamientos para Alcohol Etílico y Alcohol Metílico.*

<b>ALCOHOL ETÍLICO Y ALCOHOL METÍLICO</b>		
<b>Tratamiento</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>Oxidación</b>	✓ Concentraciones moderadas	✗ Adición de agentes
<b>Adsorción</b>	✓ Concentraciones moderadas	✗ Adición de agentes
<b>Biodegradación</b>	✓ Son consumidos por microorganismos biodegradadores.	✗ Solo para bajas concentraciones
<b>Destilación</b>	✓ Eficaz con altas concentraciones	✗ Son necesarios sistemas de purificación extras para completar el proceso.
<b>Aireación</b>	NO APLICA	
<b>Filtración</b>	NO APLICA	

La tabla 5.3 proporciona un análisis detallado de los diferentes tratamientos disponibles para la gestión de químicos residuales y cuales son aplicables al alcohol metílico y etílico.

## **5.2. Diseño de marchas de laboratorio para las pruebas de alternativa para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS.**

Para realizar las marchas de laboratorio se debe revisar con que variables se cuenta y cómo se comportan, si son variables dependientes o independientes.

### **5.2.1. Sistema de Variables.**

El sistema de variables consiste en una serie de características que se estudian y se definen de manera operacional. Se definen en función de sus indicadores o unidades de medida. (Creswell & W., 2009) En el caso de este estudio, las variables incluyen el Flujo de Entrada de la Planta, el Flujo de Salida de la Planta, la Concentración de Formol, la Concentración de Xileno, la Concentración de Alcohol Metílico, la Concentración de Alcohol Etilico, la Cantidad de Carbón activado y la Diferencia de concentración.

#### **i. Variables Independientes.**

Cualquier variable que el experimentador manipula se considera una variable independiente. Esta es el foco central del experimento y es aislada y manipulada por el investigador. En este caso, las variables independientes incluyen el Flujo de Entrada de la Planta, el Flujo de Salida de la Planta y la Cantidad de Carbón activado.

#### **ii. Variables Dependientes.**

Las variables dependientes son aquellas que cambian o varían en función de las variables independientes o los factores que se manipulan o controlan en un estudio. En este caso, las variables dependientes incluyen la Concentración de Formol, la Concentración de Xileno, la Concentración de Alcohol Metílico, la Concentración de Alcohol Etilico y la Diferencia de concentración.

### iii. Tipo de Investigación

Dado que la obtención de información se debe a la actividad intencional realizada por el investigador y está dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo, se puede decir que el tipo de investigación es de tipo experimental.

#### **5.2.2. Diseño**

El diseño del tratamiento de químicos residuales del hospital se llevará a cabo en escala de laboratorio. En un principio se pretendía realizar el análisis en las muestras de los químicos residuales del Hospital General del ISSS, pero por inconvenientes en el lugar de estudio, atrasos y negativa para la salida de las muestras, se optó por realizar el estudio en los químicos vírgenes a las mismas concentraciones que son utilizadas en el lugar de estudio. Con sus resultados se planteará teóricamente el reactor necesario para su tratamiento con carbón activado.

#### i. Población.

La población para esta investigación son los químicos vírgenes.

#### ii. Muestra.

La muestra consiste en un galón de cada químico.

### 5.2.3. Proceso Pre Experimental.

Para el procedimiento pre-experimental se visitó el lugar de estudio y se realizó una ruta desde el ingreso del químico virgen hasta su posterior descarte y acopio. En el lugar de acopio se solicitó la salida de las muestras. Ya que se tuvo limitante en obtener los químicos residuales, se optó por realizar pruebas en químicos vírgenes a las concentraciones utilizadas en el Hospital General de ISSS.

### 5.2.4. Materiales:

En la Tabla 5.4, a continuación, se presenta los reactivos y el equipo a utilizar para poder realizar la curva de calibración que se utilizará para comparar las concentraciones resultantes del tratamiento. Esto solo se pudo realizar con la Formalina ya que es una sustancia en estado acuoso.

*Tabla 5.4. Reactivos y equipo a utilizar.*

<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
Xileno	1 matraz volumétrico de 50 ml
Formalina (37%)	4 Beakers de 50 ml
Alcohol Etilico	1 jeringa volumétrica
Alcohol Metílico	Espectrofotómetro de infrarrojo cercano
Agua Desmineralizada	-----

## **5.2.5. Proceso Experimental.**

### **5.2.5.1. Obtención de las curvas de calibración.**

El análisis de muestras es una parte fundamental en numerosos campos científicos y tecnológicos, desde la química hasta la biología y la ingeniería. Para determinar la concentración de un compuesto en una muestra, es común utilizar curvas de calibración, que relacionan la respuesta instrumental con la concentración conocida del compuesto de interés. En este experimento, se utilizarán curvas de calibración para analizar la concentración de un compuesto desconocido en una muestra.

El objetivo de este experimento es determinar la concentración de xileno, formol, alcohol metílico y etílico luego de darles el tratamiento necesario para reducir su concentración utilizando curvas de calibración previamente preparadas.

### **5.2.5.2. Formalina**

#### Procedimiento

- 1) Para realizar la curva de calibración se deben realizar diferentes diluciones de concentraciones conocidas, desde la mayor concentración posible en la dilución del químico hasta la menor.
- 2) Colocar solución de Formalina al 37% en el espectrofotómetro de infrarrojo cercano, leer los resultados. Esto será el punto máximo de la curva de calibración.
- 3) Para realizar la preparación de las siguientes concentraciones se tomaron 5 concentraciones entre la máxima 37 y 5 como mínima.

- 4) Medir el volumen requerido con una jeringa volumétrica, agregar en un matraz volumétrico y se llevar al aforo.
- 5) Medir la respuesta del espectrofotómetro de infrarrojo cercano con la solución.
- 6) Para medir las demás concentraciones repetir pasos 4 y 5, hasta tener las respuestas de las soluciones estándar.
- 7) Al tener todas las respuestas instrumentales de todas las soluciones estándar, construir la gráfica de los datos obtenidos.
- 8) Realizar la regresión de la gráfica para la creación de la curva de calibración.

Utilizando la ec 1:  $V_1 = \frac{C_2 \cdot V_2}{C_1}$ , se determinará la cantidad de volumen requerida para lograr esta concentración. Así, para cada concentración, se estableció un volumen aproximado y su correspondiente concentración real.

La tabla 5.5 presenta un análisis de volúmenes y concentraciones basados en la ecuación 1 (EC 1)

*Tabla 5.5. Determinación de volúmenes y concentraciones a partir de ec 1*

<b>Concentración</b>	<b><math>V_1=C_2 \cdot V_2 / C_1</math></b>	<b>Alícuota (mL)</b>	<b>Concentración real (% V/V)</b>
<b>37</b>	50	50	37.000
<b>32</b>	43.24	43.00	31.820
<b>26</b>	35.14	35.00	25.900
<b>21</b>	28.38	28.00	20.720
<b>16</b>	21.62	21.00	15.540
<b>10</b>	13.51	13.00	9.620
<b>5</b>	6.76	6.00	4.440

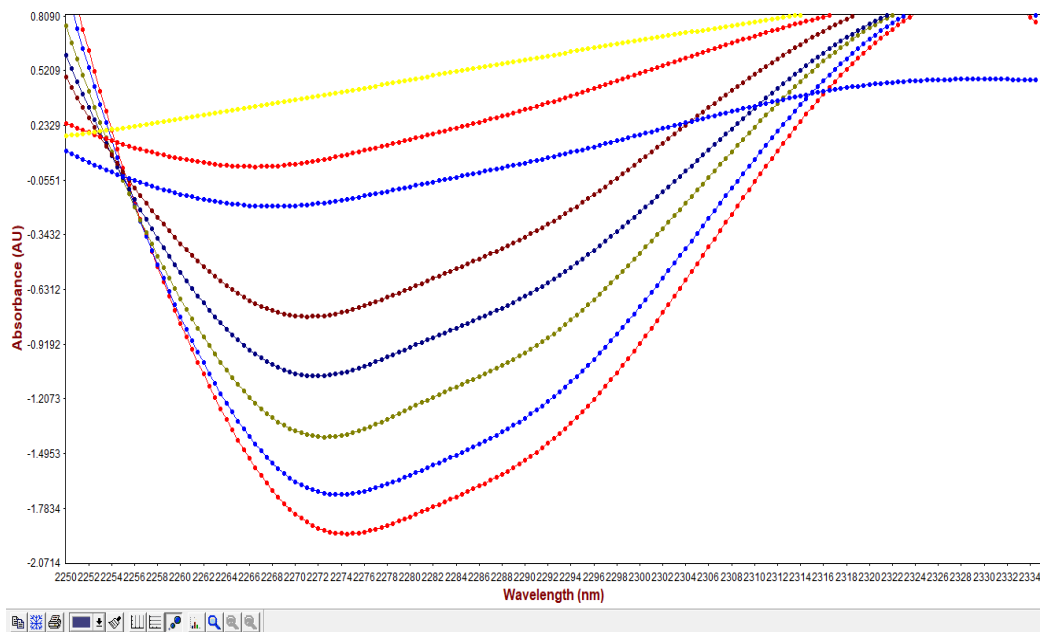
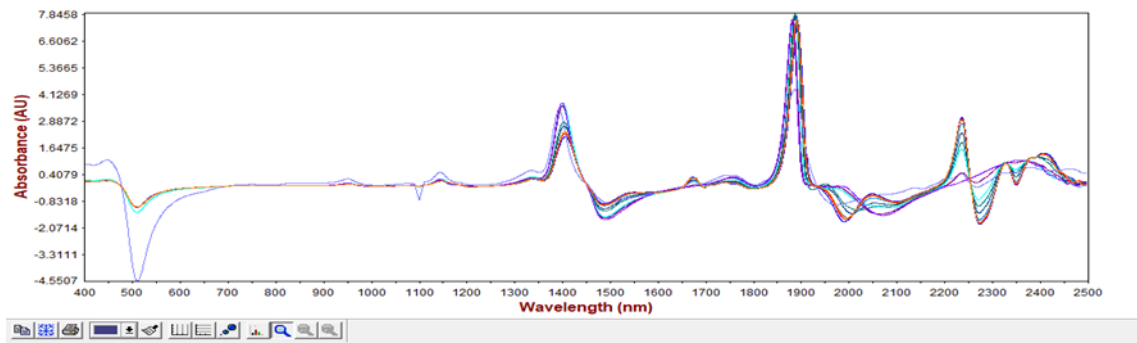
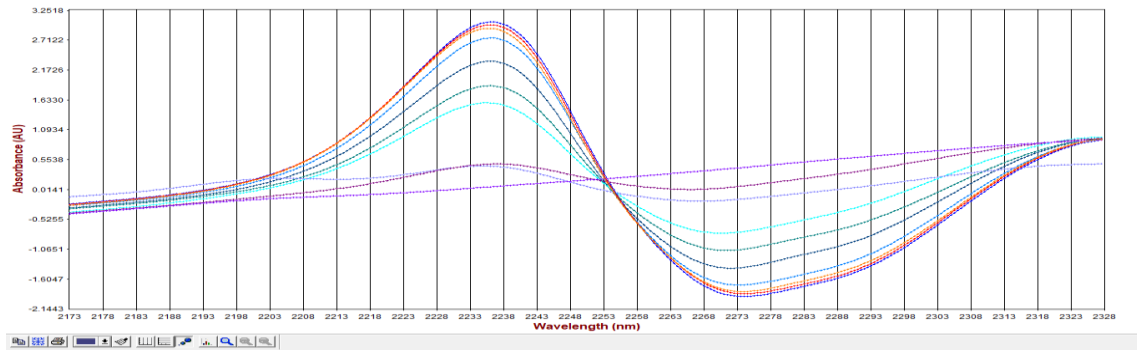


Figura 5.1. Resultados arrojados por el espectrofotómetro de infrarrojo cercano. A) Curva completa, B) Área específica. C) Zona donde se localiza correctamente la tendencia.

Para este caso al ser un químico en dilución, se pudo realizar la curva de calibración diluyendo en agua desmineralizada para realizar la curva estándar. Para el caso del Xileno, al no ser miscible en agua, no se posee otro químico para realizar las diluciones y generar la curva ya que diluciones con alcohol generaría alteraciones en las lecturas del equipo. Para el caso de los alcoholes si se puede realizar las curvas, no se realizaron en esta ocasión por lo que se explicará a continuación.

### **5.2.5.3. Obtención de curvas de concentraciones adsorbidas.**

La adsorción es un proceso seleccionado para el tratamiento que se les dará a los químicos residuales producidos por el hospital. En este experimento, se empleará carbón activado como adsorbente para modelar las isotermas de adsorción de cada químico específico en la muestra. Las isotermas de adsorción describen la relación entre la cantidad de adsorbato adsorbido en la superficie del adsorbente y su concentración en la fase líquida. El objetivo de este experimento es modelar las isotermas de adsorción del xileno, formalina, alcohol etílico y metílico utilizando carbón activado como adsorbente, y determinar parámetros importantes como la capacidad de adsorción máxima y la energía de adsorción.

Ya que no se logró contar con los químicos residuales del Hospital, se realizó esta prueba con los químicos vírgenes, es decir, sin utilizar. Para el caso de la Formalina se tomaron muestras con la concentración mayor del químico (al 37%) y se midieron diferentes cantidades de carbón activado para tener una referencia de los valores ya que no se cuenta con literatura que marcara referencia en cantidades a usar. Se comenzó planteando para 50 mL del químico utilizar 5g, 10 g, 15g y 20 g. Se obtuvo resultado solamente para 5 y 10 g, ya que con 15 g la consistencia se volvió pastosa y no hubo líquido para leer en el equipo.

Con estos resultados, se planteó realizar 6 series más para 5 g y 10g para obtener los resultados que leer.

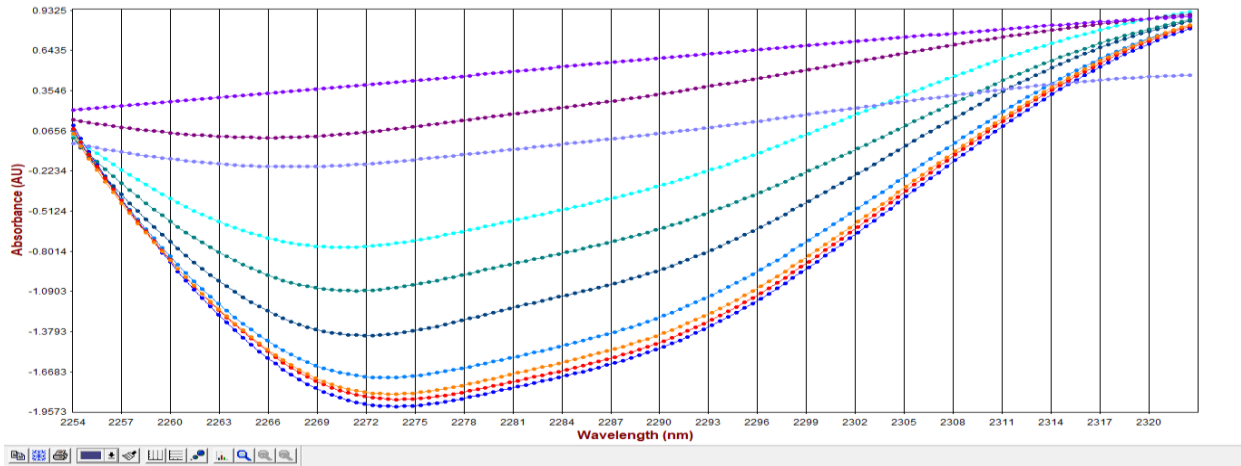


Figura 5.2. Curva muestra concentración adsorbida para muestra de 5g (roja) y 10 g (amarilla).

La tabla 5.6 presenta los reactivos y equipos a utilizar para realizar las pruebas de tratamiento con carbón activado.

Tabla 5.6. Reactivos y equipo para utilizar.

Reactivos	Equipos
Xileno	1 balanza digital
Formalina (37%)	2 Beakers de 150 ml
Alcohol Etilico	1 vidrio reloj
Alcohol Metílico	Espectrofotómetro de infrarrojo cercano
Agua Desmineralizada	Papel filtro de micras
Carbón Activado	1 embudo

Tratamiento con carbón activado:

1. En el beaker 1 verter 50 mL de Formalina al 37% y agregar 5 g de Carbón Activado.
2. Mezclar por 30 segundos y dejar reposar 10 minutos.

3. En el beaker 2 colocar un embudo, papel filtro y verter el contenido completo del beaker 1.
4. Dejar reposar hasta que el líquido caiga al beaker.
5. Asegurarse que el carbón activado no pase por el filtro para no tener alteraciones en la lectura.
6. Leer en el equipo lo que quedó luego del filtrado.
7. Repetir los pasos anteriores 5 veces más para 5 g y 6 veces para 10g.

Leer resultados.

Al tener todas las respuestas instrumentales de todas las soluciones estándar, construir la gráfica de los datos obtenidos.

#### **5.2.5.4. Xileno, Alcohol Metílico y Etílico:**

Ya que estos químicos no se encuentran en dilución, cuando se hagan pasar por carbón activado no se logrará leer en el equipo una diferencia de concentración, por ello se optó por realizar lecturas de peso y convertir a volumen para determinar cuánto líquido quedó adsorbido en el Carbón Activado. Se optó por utilizar las mismas cantidades de Carbón activado utilizadas en la Formalina.

1. En el beaker 1 verter 50 mL de químico y agregar 5 g de Carbón Activado.
2. Mezclar por 30 segundos y dejar reposar 10 minutos.
3. En el beaker 2 colocar un embudo, papel filtro y verter el contenido completo del beaker 1.
4. Dejar reposar hasta que el líquido caiga al beaker.

5. Asegurarse que el carbón activado no pase por el filtro para no tener alteraciones en la lectura.
6. Pesar el contenido del filtro.

Calcular densidades: Para conocer los volúmenes adsorbidos se deben conocer las densidades de los químicos utilizados. Para ello se toma un valor de volumen conocido, se pesa y se utiliza la ecuación 2.

$$\rho = \frac{m_1}{v_1} \quad (2)$$

✓ Xileno:

$$M_1 = 50 \text{ g}$$

$$V_1 = 60 \text{ mL}$$

$$\rho = \frac{50 \text{ g}}{60 \text{ mL}} = 0.833 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

✓ Alcohol Etilico:

$$M_1 = 46 \text{ g}$$

$$V_1 = 60 \text{ mL}$$

$$\rho = \frac{46 \text{ g}}{60 \text{ mL}} = 0.766 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

✓ Alcohol Metílico:

$$M_1 = 47 \text{ g}$$

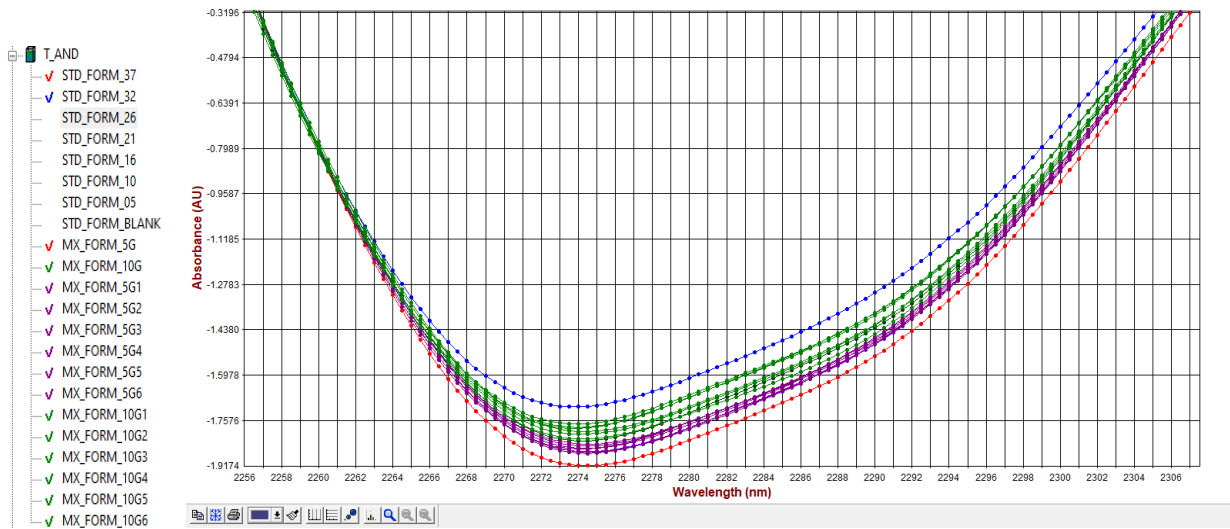
$$V_1 = 60 \text{ mL}$$

$$\rho = \frac{47 \text{ g}}{60 \text{ mL}} = 0.783 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

### 5.3. Resultados

#### 5.3.1. Formalina

Para el caso de este químico se realizaron las respectivas lecturas y se obtuvieron resultados, comprobando que adsorbe más colocando más carbón activado.



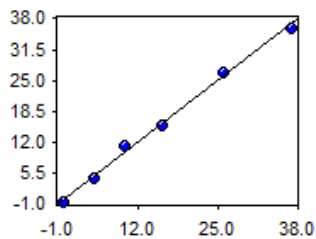
**Figura 5.3.** Curva de concentración. Curvas moradas corresponden a 5 g de carbón activado y curvas verdes a 10 g de carbón activado.

Ahora bien, para lograr conocer las concentraciones que se tienen luego de pasar por el tratamiento de carbón activado, se debe generar por medio del programa la curva para este modelo.

a) Método PLS.

Aunque los valores de  $r^2$  fueron aceptables, el delta de error generaba datos distintos a los conocidos. Por ello se optó por utilizar otro método.

Calibration Set : Calculated vs Lab Data



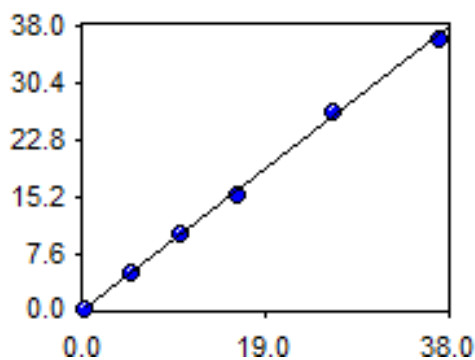
Factor	R Squared	dError Cal	PRESS	F-Value	dErr X Validati
---> Equation Constants:					
Factor 1 *	0.9959	0.9911	11.8706	966.5667	1.4066
Factor 2	0.998	0.8019	33.5685	739.7396	2.3653
Factor 3	0.9988	0.7554	83.1273	556.2903	3.7222

Figura 5.4. Resultados del método PLS

b) Método MLR.

Se realizó una regresión multilineal, con ella se obtuvo resultados más acertados por lo que se optó por utilizar esta ecuación.

Calibration Set : Calculated vs Lab Data



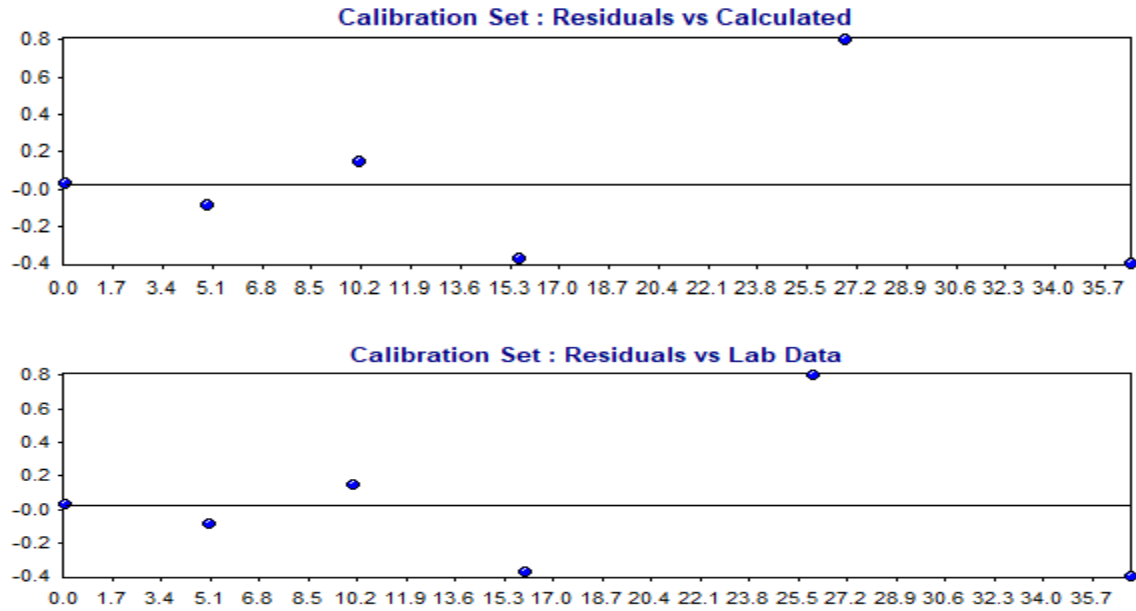


Figura 5.5. Resultados del método MLR

Los siguientes valores fueron encontrados luego de realizar las sustituciones en las ecuaciones encontradas, obteniendo las concentraciones de cada muestra luego de darle el tratamiento.

Tabla 5.7. Concentraciones obtenidas por medio de NIR.

5 g de carbón activado Ci= 37%	10 g de carbón activado Ci= 37%
35.3962	34.1321
34.6662	33.7775
35.022	33.2533
35.1235	35.0359
34.6075	33.7207
34.5475	33.7703
35.261	33.6445

La tabla 5.7 presenta un análisis de las concentraciones de la formalina después de la aplicación de dosis de carbón activado determinadas a través del espectroscopio de infrarrojo cercano (NIR).

### 5.3.2. Xileno, Alcohol Metílico y Alcohol Etilico:

Al no ser sustancias en estado acuoso, no se pudo realizar el estudio por medio de equipos como la Formalina. Es por ello, que se realizó un estudio cuantificando el volumen adsorbido por el carbón activado de las sustancias en estudio.

*Tabla 5.8. Peso adsorbido de Xileno en carbón activado.*

<b>XILENO</b>			
<b>filtro peso:</b>	2	<b>DENSIDAD</b>	0.833
<b>peso total después de filtrado (g)</b>	cant carbon (g)	peso adsorbido (g)	Volumen adsorbido (mL)
<b>28</b>	5	21	25.21
<b>34</b>	5	27	32.41
<b>32</b>	5	25	30.01
<b>30</b>	5	23	27.61
<b>32</b>	5	25	30.01
<b>31</b>	5	24	28.81
<b>45</b>	10	33	39.62
<b>53</b>	10	41	49.22
<b>48</b>	10	36	43.22
<b>48</b>	10	36	43.22
<b>46</b>	10	34	40.82
<b>54</b>	10	42	50.42

La tabla 5.8 presenta los datos sobre el peso de xileno adsorbido en diferentes muestras de carbón activado.

*Tabla 5.9. Peso adsorbido de Alcohol Metílico en carbón activado.*

<b>ALCOHOL METÍLICO</b>			
<b>filtro peso:</b>	2	DENSIDAD	0.783
<b>peso total después de filtrado (g)</b>	cant carbon (g)	peso adsorbido (g)	volumen adsorbido (mL)
25	5	18	22.99
24	5	17	21.71
27	5	20	25.54
25	5	18	22.99
25	5	18	22.99
27	5	20	25.54
43	10	31	39.59
44	10	32	40.87
42	10	30	38.31
43	10	31	39.59
44	10	32	40.87
41	10	29	37.04

La tabla 5.9 presenta los datos sobre el peso de alcohol metílico adsorbido en diferentes muestras de carbón activado.

*Tabla 5.10. Peso adsorbido de Alcohol Etílico en carbón activado.*

<b>ALCOHOL ETÍLICO</b>			
<b>filtro peso:</b>	2	DENSIDAD	0.766
<b>peso total después de filtrado (g)</b>	cant carbon (g)	peso adsorbido (g)	volumen adsorbido (mL)
24	5	17	22.19
22	5	15	19.58
23	5	16	20.89
24	5	17	22.19
24	5	17	22.19
25	5	18	23.50
44	10	32	41.78
45	10	33	43.08
44	10	32	41.78
41	10	29	37.86
43	10	31	40.47
41	10	29	37.86

La tabla 5.10 presenta los datos sobre el peso de alcohol metílico adsorbido en diferentes muestras de carbón activado.

### **5.3.3. Realizar la aplicación del modelo de isoterma de Freundlich para ajustar los datos experimentales.**

Para las pruebas anteriores de formalina a través de carbón activado se utilizó el proceso de manera discontinua, la adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para quitar una sustancia soluble del agua. En este proceso el carbón activo es el sólido. El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (una sustancia que es soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón activo. Cada clase de carbón tiene su propia isoterma de adsorción y en el campo del tratamiento de aguas esta isoterma viene definida por la función de Freundlich.

La isoterma de Freundlich (1906) se utiliza ampliamente para describir la adsorción de soluciones acuosas. Ésta no puede definir el intervalo lineal en concentraciones muy bajas o el efecto de saturación a concentraciones muy altas, por ello se debe emplear en concentraciones intermedias. La ecuación de esta isoterma es:

$$Q_{eq} = K * C_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Dónde:

“ $Q_{eq}$ ” es la capacidad de adsorción en mg de Formalina / g de carbón activado

“ $K$ ” es el coeficiente de adsorción.

“ $C_{eq}$ ” es la concentración final de formalina

“ $n$ ” se encuentra relacionada con la heterogeneidad energética de la superficie adsorbente.

La ecuación muestra la ecuación linealizada de la Isoterma de Freundlich.

$$\log Q_e = (1/n) \log C_{eq} + \log K \quad (4)$$

A continuación, se presentan la metodología de la investigación, desde la lectura del espectrofotómetro de infrarrojo cercano hasta la obtención de las constantes de la isoterma de Freundlich.

Preparación de las soluciones estándar de formalina para la construcción de la curva de absorción del espectrofotómetro de infrarrojo cercano.

#### **5.3.4. Plan de análisis**

Todos los datos se tabularon en Microsoft Excel 2016. En éste se calcularon las variables de la investigación, por ejemplo, concentración inicial y final de Formalina, concentraciones finales, porcentaje de remoción, constantes de las isotermas, etc.; y de cada una se reportaron sus valores individuales y promedios para las 6 repeticiones por cantidad de Carbón. Además, se

elaboraron las gráficas para curva de calibración, dosis, tiempo de contacto e isothermas de Freundlich.

Según correspondía, se obtuvo automáticamente una regresión lineal con la ecuación de la recta y coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

### **5.3.5. Influencia de la cantidad del carbón activado en la remoción de formalina.**

Para cuantificar la concentración Formalina antes y después de la adsorción con el carbón activado, se elaboró una curva de calibración a partir de unas soluciones estándar de formalina, utilizada para calcular las concentraciones de formalina y establecer la cantidad de carbón.

En la Tabla 5.7 se presentan las pruebas de la concentración inicial de Formalina de cada estándar. Los resultados se realizaron seis veces.

Ahora bien, en cuanto el establecimiento de la influencia de la cantidad de carbón activado en la remoción de formalina, como se observa en la figura 5.4, al utilizar una dosis de 5.0g el porcentaje de remoción (%Rem) es de 5.986%, el cual aumenta proporcionalmente a una mayor cantidad de carbón. Así, al utilizar 10.0g el %Rem se eleva 7.929%, con estos datos se encontrar el dato de una remoción adecuada de formalina con el fin de optimizar la cantidad de carbón activado partiendo de una concentración inicial de 37% V/V de formalina.

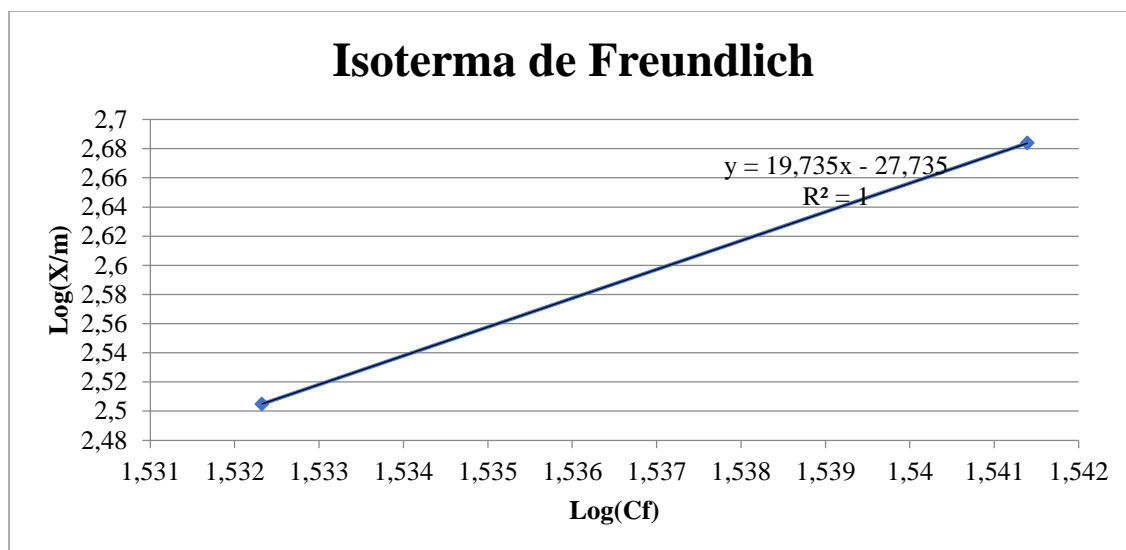
**5.3.6. Determinar los parámetros de los modelos de adsorción, como la capacidad de adsorción máxima y la constante de adsorción.**

La isoterma de Freundlich explica la adsorción para superficies heterogéneas y asume que las moléculas adsorbidas interactúan con sus vecinos adyacentes pudiendo adsorberse primeramente en una monocapa y luego formar una multicapa, estableciendo además que la energía de adsorción se reduce exponencialmente con la disminución del número de sitios activos de un adsorbente; donde el valor de  $1/n$  (equivalente a la pendiente “m”) está relacionado con la intensidad de adsorción, mientras que la QF con la capacidad de bioadsorción. Las constantes para este modelo se reportan en la Tabla 5.11 donde la intensidad de adsorción en función de su grado de heterogeneidad ( $1/n$ ) fue 0.8513 y la constante de Freundlich (QF) 1.66035 g/g.

*Tabla 5.11. Parámetros de la isoterma de Freundlich para sistema carbón activado-formalina.*

<b>Isoterma de Freundlich</b>		
<b>K (g/g)</b>	$1/n$	$R^2$
<b>1.6604</b>	0.8513	1

La tabla 5.11 presenta los parámetros obtenidos de la isoterma de Freundlich aplicados al sistema de adsorción de formalina en carbón activado. Se incluyen columnas que detallan la constante de Freundlich (Kf), el exponente de Freundlich (n), y los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) que indican el ajuste del modelo a los datos experimentales.



**Figura 5.6.** Linealización de la isoterma de Freundlich para el sistema carbón activado-formalina.

Debido a que el valor de  $1/n$  oscila entre 0 y 1 (0.8513), el carbón activado es eficiente para adsorber la formalina.

Para los otros químicos no se puede realizar una Isoterma debido a que estos están de forma pura y no como solutos en el agua, por lo tanto para ellos se hicieron una gráfica de tendencia lineal de la adsorción de volumen de líquido por gramo de carbón activado.

Los resultados son los siguientes:

**Tabla 5.12.** Parámetros de la recta de comportamiento del sistema de adsorción carbón activado-xileno.

<b>Recta para Xileno</b>		
<b>Pendiente</b>	Intercepto	$R^2$
<b>1.5977</b>	21.023	1

La tabla 5.12 presenta los parámetros obtenidos aplicados al sistema de adsorción de xileno en carbón activado. Se incluyen columnas que detallan la pendiente, el intercepto, y los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) que indican el ajuste del modelo a los datos experimentales.

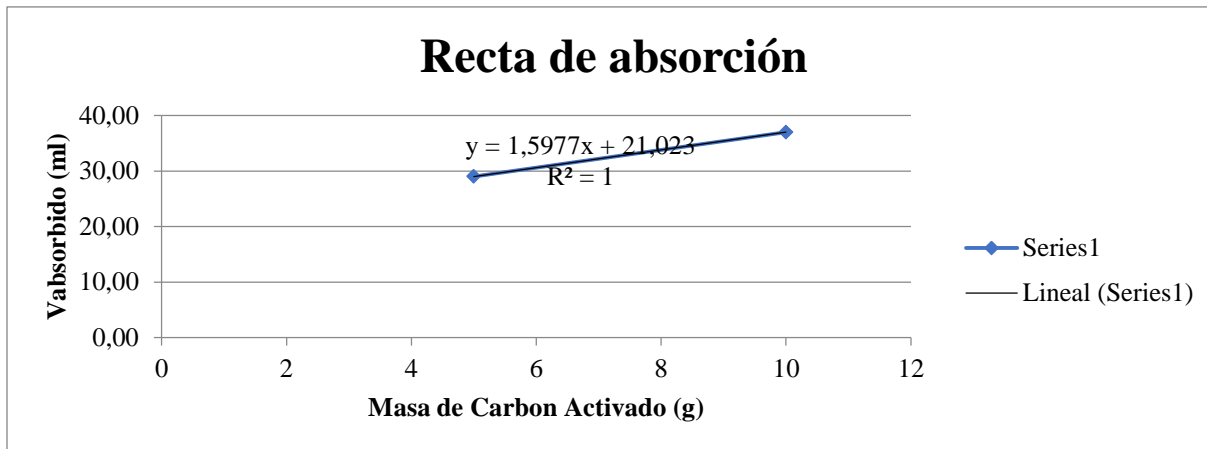
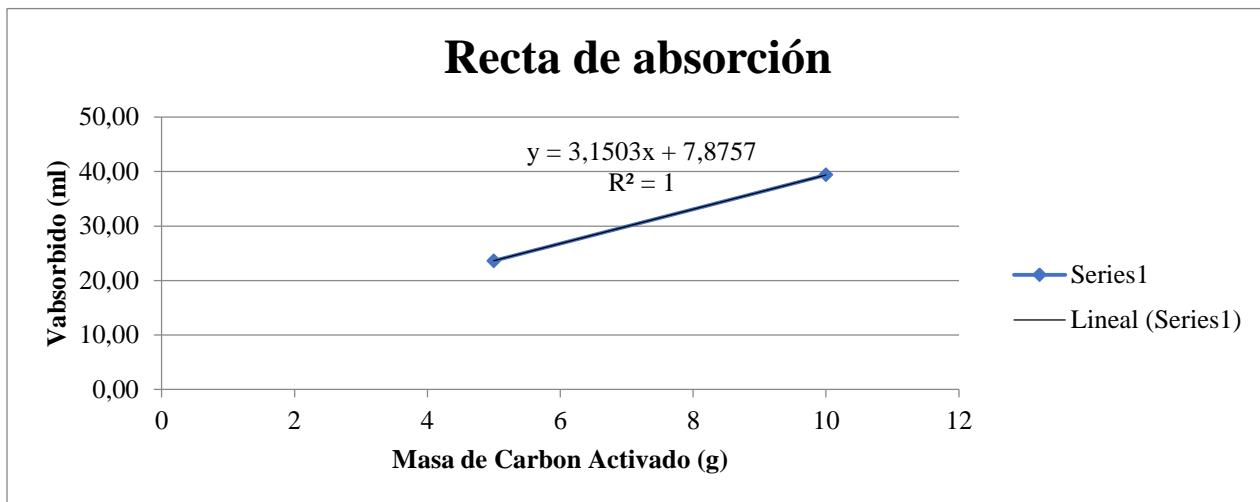


Figura 5.7. Gráfico de la recta del comportamiento de adsorción del sistema carbón activado-xileno.

Tabla 5.13. Parámetros de la recta de comportamiento del sistema de adsorción carbón activado-alcohol metílico

Recta para Alcohol Metílico		
Pendiente	Intercepto	R <sup>2</sup>
3.1503	7.8757	1

La tabla 5.13 presenta los parámetros obtenidos aplicados al sistema de adsorción de alcohol metílico en carbón activado. Se incluyen columnas que detallan la pendiente, el intercepto, y los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) que indican el ajuste del modelo a los datos experimentales.

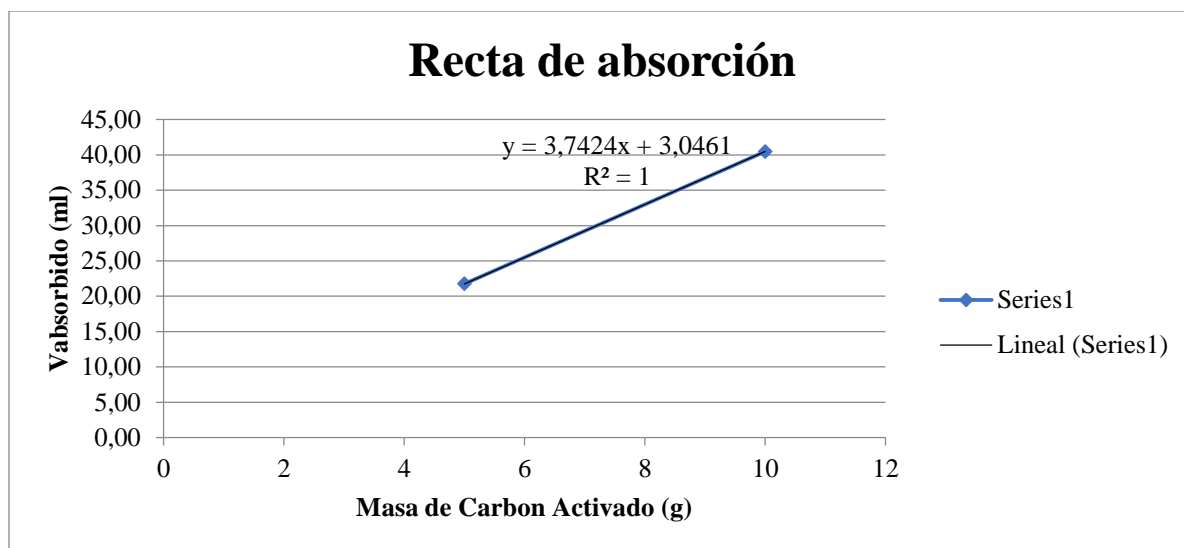


*Figura 5.8. Gráfico de la recta del comportamiento de adsorción del sistema carbón activado-alcohol metílico.*

*Tabla 5.14. Parámetros de la recta de comportamiento del sistema de adsorción carbón activado-alcohol etílico.*

<b>Recta para Alcohol Etílico</b>		
<b>Pendiente</b>	<b>Intercepto</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>3.7424</b>	<b>3.0461</b>	<b>1</b>

La tabla 5.14 presenta los parámetros obtenidos aplicados al sistema de adsorción de alcohol etílico en carbón activado. Se incluyen columnas que detallan la pendiente, el intercepto, y los coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) que indican el ajuste del modelo a los datos experimentales.



*Figura 5.9. Gráfico de la recta del comportamiento de adsorción del sistema carbón activado-alcohol etílico.*

#### **5.4. Análisis de los resultados**

Ahora bien, en cuanto el establecimiento de la influencia de la cantidad de carbón activado en la remoción de formalina, como se observa en la figura 5.4, al utilizar una dosis de 5.0g el porcentaje de remoción (%Rem) es de 5.986%, el cual aumenta proporcionalmente a una mayor cantidad de carbón. Así, al utilizar 10.0g el %Rem se eleva 7.929%, con estos datos se encontrará una remoción adecuada de formalina con el fin de optimizar la cantidad de carbón activado partiendo de una concentración inicial de 37% V/V de formalina.

En el caso del xileno como se observa en la figura 5.5, al utilizar una dosis de 5.0g el %Rem es de 58.023%, el cual aumenta proporcionalmente a una mayor cantidad de carbón. Así, al utilizar 10.0g el %Rem se eleva 88.836%, con estos datos se encontrará una remoción adecuada de xileno con el fin de optimizar la cantidad de carbón activado partiendo de una concentración pura de xileno.

En el caso del alcohol metílico como se observa en la figura 5.6, al utilizar una dosis de 5.0g el %Rem es de 47.254%, el cual aumenta proporcionalmente a una mayor cantidad de carbón. Así, al utilizar 10.0g el %Rem se eleva 78.757%, con estos datos se encontrar el dato de una remoción adecuada de alcohol metílico con el fin de optimizar la cantidad de carbón activado partiendo de una concentración pura de alcohol metílico.

En el caso del alcohol etílico como se observa en la figura 5.7, al utilizar una dosis de 5.0g el %Rem es de 43.516%, el cual aumenta proporcionalmente a una mayor cantidad de carbón. Así, al utilizar 10.0g el %Rem se eleva 80.940%, con estos datos se encontrar el dato de una remoción adecuada de alcohol etílico con el fin de optimizar la cantidad de carbón activado partiendo de una concentración pura de alcohol etílico.

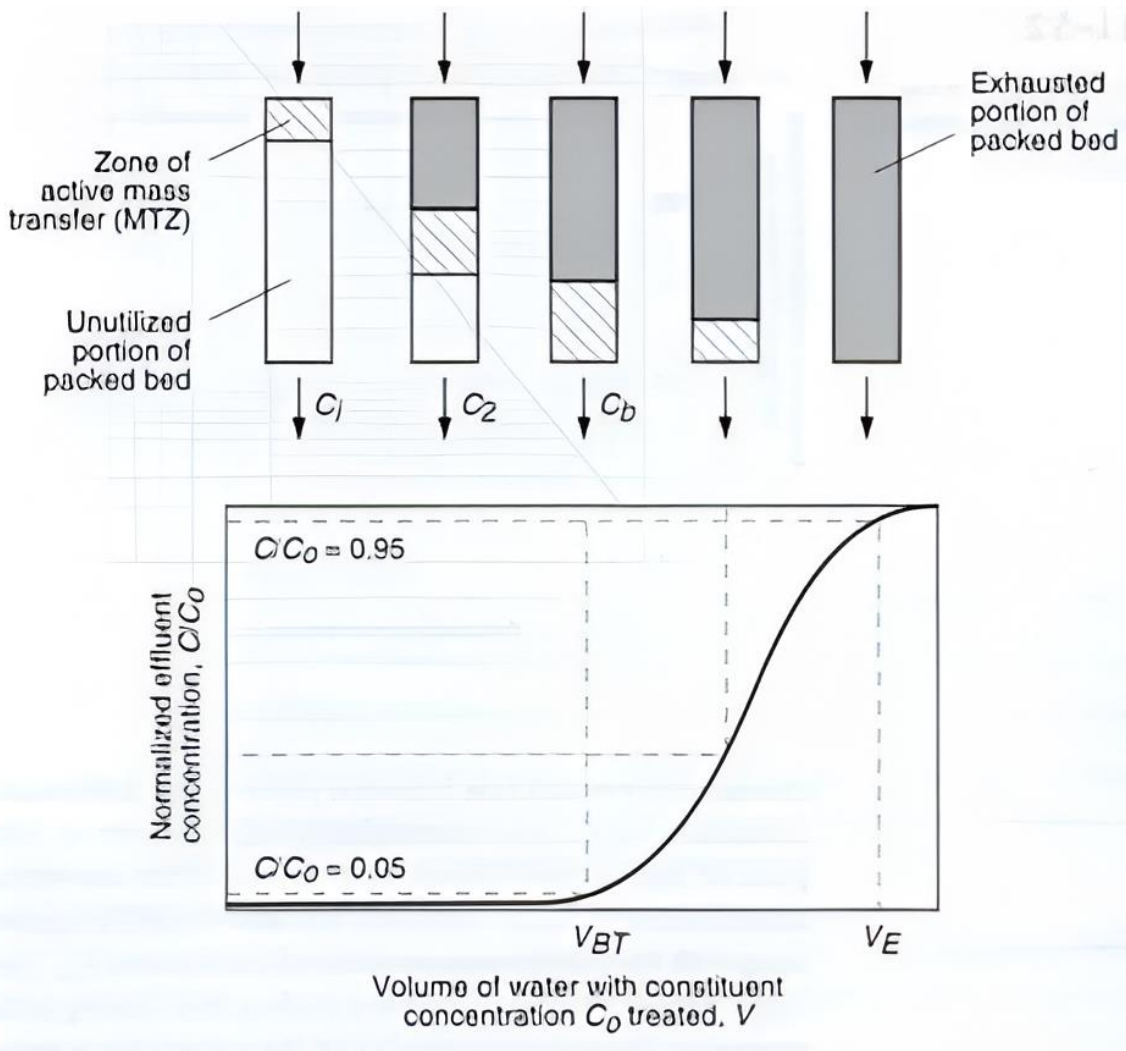
## **CAPÍTULO 6. Evaluación para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS.**

### **6.1. Planteamiento metodológico para el tratamiento de los químicos residuales del Hospital General del ISSS.**

#### **6.1.1. Adsorción en Continuo**

En el momento en que el agua residual pasa por medio de una columna de carbón activo, los contaminantes se separarán paulatinamente y el agua residual se va clarificando de manera gradual en un proceso de depuración continuo, distinto a los reactores batch que son un proceso discontinuo por medio de balance de materia.

No existe una separación absoluta entre el agua tratada y la alimentación. Se crea una zona de transición en la que la zona de concentración de contaminante varía desde un valor máximo, al terminar la zona, hasta prácticamente cero en la parte inicial de la misma. Esta zona es la fracción activa de la columna, y se llama zona de adsorción o de transferencia de masa o también denominado MTZ. Una columna de adsorción carbón activado en la que se alimenta agua para tratar, con una concentración de soluto  $C_0$  (mg/L). Se desea llevar la concentración de la solución hasta una cantidad igual o inferior a  $C_e$  (mg/L). En el comienzo de la operación, la concentración del efluente es menor que la concentración permisible  $C_e$ . Al pasar un tiempo se logra alcanzar la concentración  $C_e$  correspondiente al punto de ruptura. (Bansal & Goyal, 2005)



**Figura 6.1.** Curva de ruptura típica para el carbón activo, mostrando la zona de transferencia de masa. Fuente: (Bansal & Goyal, 2005)

Como se puede observar en la figura, el lecho de carbón activo va saturándose hasta que llegar a la máxima capacidad de adsorción.

Este movimiento que avanza en la zona de adsorción se puede apreciar mediante el esquema de las denominadas curvas de ruptura. Las ordenadas de una curva de ruptura representan a la concentración del efluente y las abscisas representan a que tanto dura el flujo por medio de la columna en tiempo. Por lo general, la operación de una columna de adsorción no se mantiene hasta su agotamiento. Esta concentración de llama de ruptura  $C_e$ . Si la concentración

del efluente alcanza el valor de ruptura y ésta hace parte a un tiempo de flujo que está muy diferente del correspondiente a la concentración del soluto en el efluente, no resulta factible efluente de una columna sea la alimentación de la siguiente.

En un sistema muy bien construido, al momento en que la concentración del efluente de la última columna de la serie logra la de ruptura, el adsorbente de la primera columna pasara a la sección de regeneración y el afluente pasaría a la próxima columna de la serie. Al mismo tiempo, una columna fresca, ya regenerada, se pondrá en continuo de la columna para la que se hubiese logrado la concentración de ruptura. De esta forma, la concentración final del efluente de la serie de columnas jamás pasara la concentración de ruptura especificada  $C_e$  con siempre un valor continuo. También pueden encontrarse las columnas en paralelo de esa manera todas van trabajando a la par, dividiéndose el caudal de entrada. Suele utilizarse estas prácticas en aplicaciones industriales, donde los volúmenes a tratar son más grandes. (Bansal & Goyal, 2005)

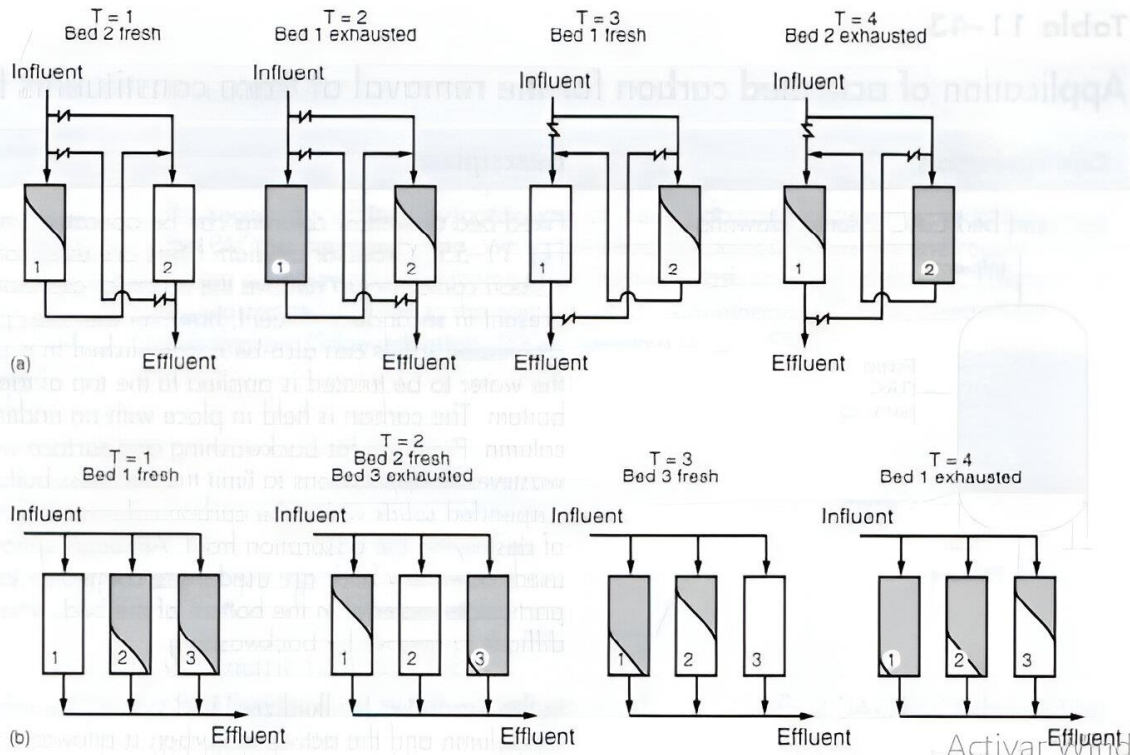
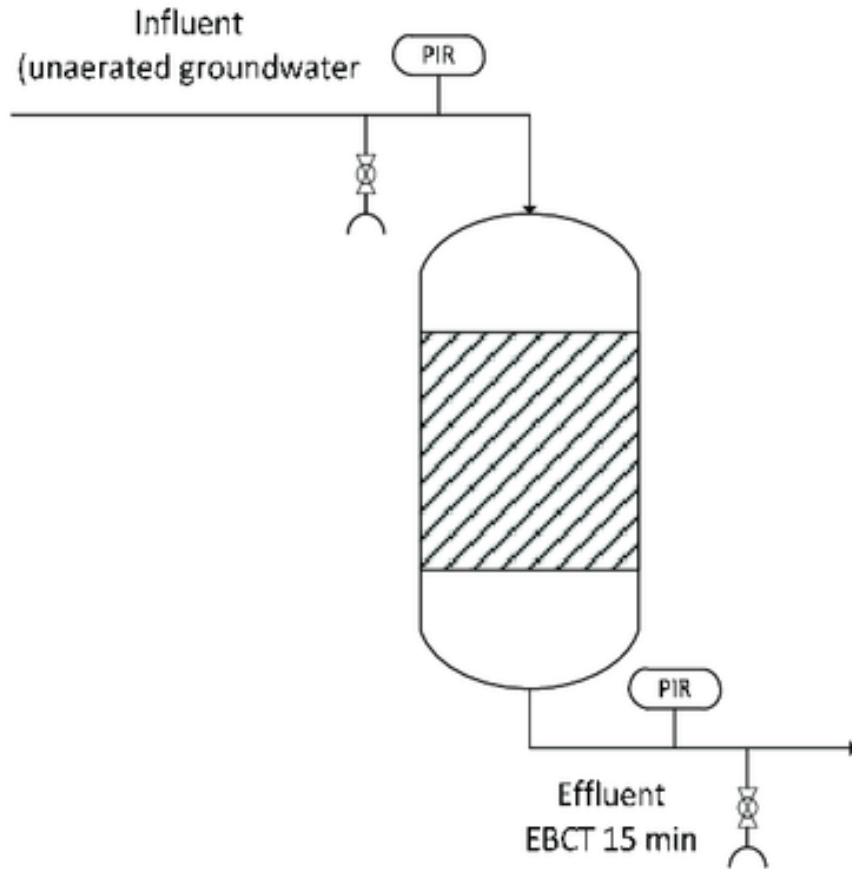


Figura 6.2. Configuración de contactores de carbón activo. a) Serie. b) Paralelo. Fuente: (Bansal & Goyal, 2005)

### 6.1.2. Contactores de Adsorción

Hay muchos tipos de contactores de carbón activo utilizados para eliminar componentes, en este proyecto de acuerdo con las especificaciones del carbón activado granular, se seleccionó y utilizó Tamiz Malla 8X30 (U.S. Estándar Sieve), es decir, de granulometría 8 x 30 y quiere decir que es un rango de partículas que pasan por la malla número 8 (2,38 mm) y retenidas en la malla número 30. Típicamente, se utilizan los contactores presurizados con flujo descendente mostrados en la figura siguiente.



*Figura 6.3. Configuración de contactores de carbón activo. Fuente: (Bansal & Goyal, 2005)*

El diseño y dimensionamiento de los contactores está basado en parámetros externos como el tiempo de contacto de lecho en vacío también llamado EBCT o el caudal de entrada de los efluentes. En los contactores se crea un estado estable de balance de masa alrededor del lecho de carbón activo del contactor que se puede transformar en:

$$\textit{Acumulación} = \textit{Entrada} - \textit{Salida} - \textit{Cantidad adsorbida}$$

$$0 = QC_0t - QC_e t - m_c q_e$$

Dónde:

$Q$  = Tasa de flujo volumétrico, L/h.

$C_0$  = Concentración inicial de adsorbato, mg/L.

$t$  = tiempo, h.

$C_e$  = Concentración final de la solución en el equilibrio de adsorbato después de la adsorción, mg/L

$m_c$  = Masa de adsorbente, g.

$q_e$  = Concentración de adsorbente después del equilibrio, mg de adsorbato / g adsorbente.

De la ecuación anterior, el ratio de uso del carbón activo se define como:

$$\frac{m_c}{Q} = \frac{C_0 - C_e}{q_e}$$

Se asume que la masa de adsorbato en el espacio del poro es demasiado pequeña en comparación a la cantidad adsorbida, así pues, el término  $QC_e$  en la ecuación se puede despreciar y el ratio de adsorbente se puede simplificar:

$$\frac{m_c}{Q} \approx \frac{C_0}{q_e}$$

La cantidad de operación del carbón activo en la operación de contactores y por lo tanto su dimensionamiento, se basa en el desarrollo del tiempo de lecho en vacío (EBCT):

$$E = \frac{V_b}{Q}$$

E = tiempo de vida útil de la cama o lecho, h

V<sub>b</sub> = Volumen del contactor ocupado por el carbón activado, m<sup>3</sup>

Q = Caudal Continuo, m<sup>3</sup>/h.

Es importante también conocer el tiempo de residencia, o el tiempo que será efectivo ese carbón activo antes de reponerlo.

$$B = \frac{V_{EBCT}}{Q}$$

Dónde:

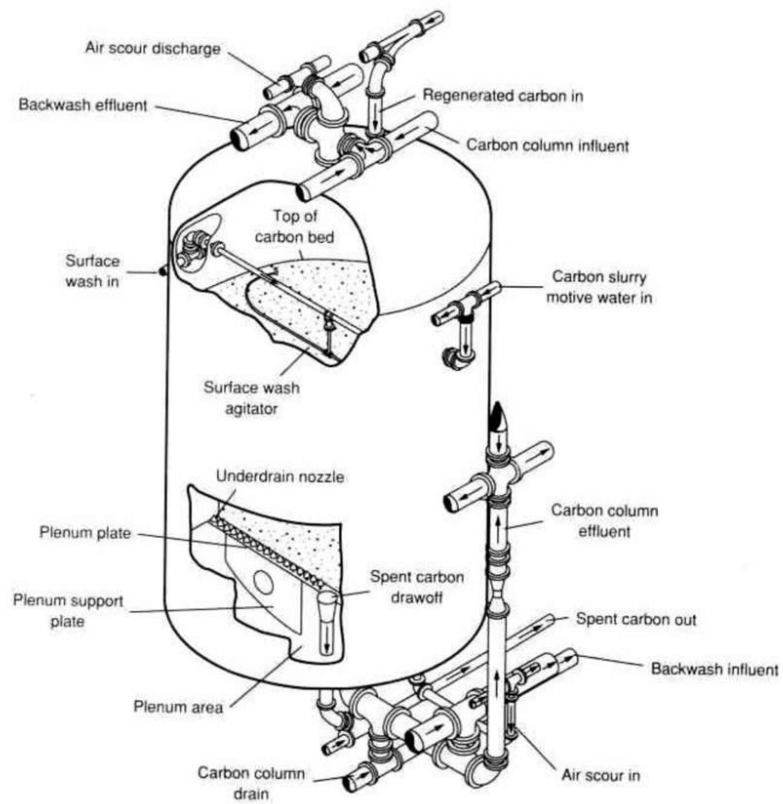
V<sub>EBCT</sub> = Volumen de agua tratada para EBCT, L.

Q = Caudal de entrada, L/día.

(Bansal & Goyal, 2005)



*Figura 6.4. Ilustración de un contactor presurizado continuo. Fuente: (Metcalf & Eddy, Inc., 2014)*



*Figura 6.5. Ilustración de contactores en paralelo. Fuente: (Tchobanoglous & Burton, 1991)*

Debido a que no se pudo obtener las muestras de los químicos residuales, no se puede realizar los cálculos para los contactadores de absorción.

### **6.1.3. Descripción del proceso de selección de la alternativa.**

El proceso consistiría en la implementación de 4 columnas de absorción antes de la entrada de la planta de tratamientos ya existente, cada uno trabajando de forma independiente con un solo químico a tratar.

### **6.1.4. Descripción de cambios y modificaciones a la planta de tratamientos de agua del Hospital General del ISSS.**

El cambio solo sería la implementación de las cuatro columnas de absorción en la entrada de toda la planta.

## **6.2. Estudio económico para la implementación de la alternativa a implementar.**

Se puede hacer un estimado del costo de implementación de este equipo, el cual es el siguiente:

*Tabla 6.1. Costos estimados asociados a la instalación de la alternativa del tratamiento para la planta del ISSS*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Contactador de adsorción, depurador de líquido, columna de carbón activo, torre de adsorción.	4	\$ 402.28	\$ 1609.12

### **6.3. Resultados de la evaluación**

En el área de patología del Hospital General del ISSS se han acumulado diversos químicos residuales, lo que pone en riesgo al personal y a los residentes, lo que perjudicaría el desarrollo de sus funciones con y para la salud del país, la gestión adecuada de los residuos químicos es un desafío crucial. Nuestra propuesta de tratamiento de químicos residuales mediante columnas de adsorción con carbón activado se presenta como una solución alternativa y eficaz para abordar esta problemática.

El objetivo principal de esta propuesta es implementar un sistema de tratamiento que permita la remoción eficiente de contaminantes químicos residuales almacenados mientras se descargan en los afluentes de la planta de aguas residuales del hospital, esto con el fin de no afectar el funcionamiento de la planta ya existente. Utilizando columnas de adsorción con carbono activado, buscamos no solo cumplir con las normativas ambientales vigentes, sino también contribuir al bienestar del medio ambiente y la salud pública.

Los químicos residuales en los efluentes industriales representan una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como para la salud humana. La adsorción con carbono activado es una técnica bien establecida, reconocida por su alta capacidad de retención de contaminantes y su versatilidad en el tratamiento de diversos compuestos químicos. Esta tecnología no solo es eficiente en la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos, sino que también es económicamente viable y relativamente fácil de implementar en diversas escalas hospitalarias.

El proceso de tratamiento propuesto implica la instalación de columnas de adsorción llenas de carbono activado, a través de las cuales se hará circular el afluente de la planta de aguas residuales del hospital junto con los químicos residuales. El carbono activado, conocido por su gran superficie específica y alta porosidad, adsorbe los contaminantes, reteniéndolos en su estructura y permitiendo que el agua purificada sea descargada o reutilizada de manera segura. Aunque las pruebas fueron realizadas para un proceso discontinuo, se espera que su comportamiento sea igual para el trabajo continuo. Este sistema se complementa con un monitoreo continuo de los parámetros de calidad del agua para asegurar la eficiencia del proceso y cumplir con los estándares ambientales.

La adopción de columnas de adsorción con carbono activado para el tratamiento de químicos residuales es una inversión estratégica que aporta múltiples beneficios ambientales, económicos y sociales. Esta solución no solo atiende las demandas de una gestión responsable de residuos, sino que también posiciona a las empresas como líderes en sostenibilidad y protección del medio ambiente.

Nuestra propuesta no solo es una respuesta a las necesidades actuales, sino una apuesta firme por un futuro más limpio y seguro para todos. Invitamos a considerar esta tecnología como parte integral de sus procesos industriales y a colaborar en la construcción de un entorno más saludable y sostenible.

Durante el desarrollo de la investigación para la selección de la alternativa más adecuada en el tratamiento de los químicos residuales generados por el área de Patología del hospital general del ISSS, se presentaron desafíos significativos en el trámite para la obtención de muestras representativas de estos compuestos. Debido a esta situación, las pruebas de laboratorio

se realizaron utilizando químicos vírgenes, los cuales fueron procesados a través de carbón activado. Este enfoque fue fundamental para evaluar la efectividad de la adsorción del carbón activado en la captura de los químicos residuales presentes en el lugar de estudio, sin embargo estos no permitió observar el comportamiento de los mismos luego de ser utilizados en el proceso de adsorción ya que estos llevan una carga orgánica contaminante (sangre, tejidos, etc.) y esta puede tener un efecto en el proceso de captura en carbón activado.

El carbón activado, conocido por su alta capacidad de adsorción, se utilizará para capturar los químicos residuales generados por el área de Patología. Este material tiene la propiedad de retener una amplia variedad de sustancias nocivas, lo que lo convierte en una opción viable para el tratamiento de estos residuos. Sin embargo, es crucial resaltar que no se recomienda el secado del carbón activado con la intención de reutilizarlo. Este proceso puede comprometer la eficacia del carbón, reduciendo su capacidad de adsorción y, en consecuencia, su efectividad en la captura de contaminantes. Además, es importante considerar que, dependiendo de la naturaleza de los químicos adsorbidos, el carbón activado puede volverse altamente inflamable, lo que representa un riesgo adicional en su manejo.

Dado que la disposición final del carbón activado utilizado debe ser realizada de manera adecuada, la única solución viable en este contexto es su acopio. La gestión de estos residuos debe estar a cargo de un ente regulador, como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que asegurará que se sigan todas las normativas necesarias para prevenir riesgos ambientales y de salud. De esta manera, se garantizará un manejo seguro de los residuos generados, protegiendo así tanto a la comunidad como al entorno. Este proceso de gestión

responsable es fundamental para minimizar el impacto ambiental de los residuos generados en el hospital y asegurar un enfoque sostenible en el tratamiento de los mismos.

## CONCLUSIONES

El sistema propuesto para el tratamiento de los químicos residuales del área de patología del Hospital General del ISSS, consiste en un sistema de adsorción mediante carbón activado a través de 4 contactadores que operan de forma paralela para cada uno de los químicos residuales.

De acuerdo al análisis comparativo realizado para la evaluación de los tratamientos utilizados tanto para la formalina, el xileno, el alcohol metílico y etílico se concluye que los métodos más efectivos son oxidación, biodegradación, destilación, aireación y filtración, siendo lo más efectivos la oxidación y adsorción.

Los porcentajes de remoción de los químicos vírgenes para las dosis de 5 g y 10 g de carbón activado son: para la formalina 5.986% y 7.929%; para el xileno 58.023% y 88.836%; para el alcohol metílico 47.254% y 78.757%; y para el alcohol el etílico 43.516% y 80.940%. La razón por la que los valores de remoción de la formalina sean bajos se debe a que este es parcialmente soluble en agua, y para el xileno, el alcohol metílico y etílico es debido a su carácter no polar.

La disposición final del carbón activado utilizado debe ser realizada de manera adecuada, la única solución viable en este contexto es su acopio. La gestión de estos residuos debe estar a cargo de una empresa o institución autorizada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, que asegurará que se sigan todas las normativas necesarias para prevenir riesgos ambientales y de salud.

## RECOMENDACIONES

Es pertinente desarrollar un estudio de los factores que pueden afectar el comportamiento de estos sistemas como la temperatura, los tiempos de retención, pH, etc.

Se recomienda utilizar herramientas avanzadas de simulación para las columnas de adsorción sugeridas, deberán permitir el inicio del sistema de tratamiento, considerando las condiciones de las descargas y de los químicos, y el comportamiento en conjunto de los sistemas de la planta de tratamiento del área de patología del hospital general del ISSS.

Se recomienda realizar un mayor número pruebas que las realizadas en esta investigación ya que esto permitirá un análisis más profundo de los sistemas para poder determinar las cantidades óptimas a utilizar de carbón activado.

No se recomienda el secado del carbón activado para su reutilización, ya que este proceso puede comprometer su eficacia y que debido a la naturaleza de los químicos adsorbidos este puede ser altamente inflamable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amanco El Salvador. (2002). *Proyecto de reconstrucción y equipamiento del Hospital General del ISSS: Licitación pública I-HG-08/98 Planta de tratamiento de aguas residuales.*
- Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. (2004). *Norma para Regular Calidad de Aguas Residuales de Tipo Especial Descargadas al Alcantarillado Sanitario.*  
<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/anda/documents/115913/download>
- Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). *Activated carbon adsorption: Engineering and technology.* Physical Sciences. <https://doi.org/10.1201/9781420028812>
- Barner, H. E. (1992). *Supercritical water oxidation: An emerging technology.* *Journal of Hazardous Materials*, 28(1), 1-17.
- Bautista, R. M. (s.f.). *Degradación de fenol a través de un reactor por biodiscos.*
- Bermejo, M. D., & J., M. (2006). *Supercritical water oxidation: A technical review.* *AIChE Journal*, 52(12), 3933-3951.
- Brock, E. E. (1998). *A reduced mechanism for methanol oxidation in supercritical water.* *Chemical Engineering Science*, 53, 857-867.

Carrasco, E. R. (s.f.). *Eliminación de formaldehído en agua mediante procesos de oxidación avanzada*.

Castaños, E. (2015, 17 de agosto). *Cromatografía de fluidos supercríticos*. Recuperado el 30 de octubre de 2023, de <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/08/17/cromatografia-de-fluidos-supercriticos/>

ChemicalSafetyFacts. (2022, 14 de octubre). *Products: Information on chemicals in everyday*. <https://es.chemicalsafetyfacts.org/chemicals/methanol/>

Conquímica S.A.S. (s.f.). *Alcohol etílico*. Medellín, Colombia.

Cornejo Arteaga, P. (s.f.). *Aplicaciones del alcohol etílico*. Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa3/article/download/1725/5423?inline=1>

Consejo Superior de Salud Pública. (2016). *Requerimientos técnico administrativos por tipo de establecimiento: Tipo de establecimiento Laboratorio de Patología*. <https://cssp.gob.sv/wp-content/uploads/2016/06/EX-CD-N-40-2-RTA-LABORATORIO-DE-PATOLOGIA-JVPM.pdf>

Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3th ed.). Sage Publications, Inc.

ENMT, E. N., III, I. d., & Innovación, M. d. (2010). *Agentes químicos en el ámbito sanitario*. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado.

Ferrovial. (2024). *Qué son las aguas residuales y cómo tratarlas*.

<https://www.ferrovial.com/es/recursos/aguas-residuales/>

INVERSAP. S.A. (2023). *Informe de servicios en Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para Hospital General del ISSS*.

Instituto Salvadoreño del Seguro Social. (2018). *Portafolio de Servicios de Salud del ISSS*. <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/iss/documents/servicios>

Instituto Salvadoreño del Seguro Social. Departamento de Normalización (2021). *Norma del Departamento de Anatomía Patológica del Instituto Salvadoreño del Seguro Social*.

<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/iss/documents/508152/download>

Instituto Salvadoreño del Seguro Social. (s.f.). *Diagnóstico ambiental Complejo Hospital General Instituto Salvadoreño del Seguro Social*.

Leica Microsystems. (2021). *ST5025 Multistainer Operating Instructions (V1.5 English - 11/2004)*. <https://rankinbiomed.com/wp-content/uploads/Leica-ST5020-Multistainer-Operator-Manual.pdf>

Leica Microsystems. (2021). *Manual de instrucciones ASP6025 S - Advanced Smart Processor*. (V 1.4, español 07/2021).

[https://www.leicabiosystems.com/sites/default/files/media\\_product-download/2022-02/ASP6025\\_S\\_IFU\\_1v4F\\_es.pdf](https://www.leicabiosystems.com/sites/default/files/media_product-download/2022-02/ASP6025_S_IFU_1v4F_es.pdf)

Lettinga, G. v. (1980). *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment*. *Biotechnology and Bioengineering*, 22(4), 1431-1440.

Martino, C. J. (1997). *Thermal decomposition of substituted phenols in supercritical water*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 36, 1385–1390.

Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Mora, J., Vatai, G., Molnar, E. B., & P., J. (2002). *Eliminación de sal y metanol del agua residual industrial por ósmosis inversa*. *Tecnología en Marcha*, 17(1), 55-66.

Muñoz Acosta, P. F., & Roa Usa, Í. K. (2017). *Estudio de pre-factibilidad para el tratamiento de los residuos líquidos provenientes de las piezas anatómicas del laboratorio de anatomía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle*. (Trabajo de grado, Universidad de La Salle)  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/372](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/372)

Paz, U. F. (2015). *Eliminación de vapores de xileno presentes en una corriente de gas en un biofiltro percolador*. Cali, Colombia.

Pineda, Johan A. (2016). *Análisis de la problemática del manejo de residuos peligrosos hospitalarios*. (Ensayo de grado, Universidad Militar Nueva Granada)  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstreams/a2356369-2d79-4801-aae1-747cd0e5f633/download>

Portal de Transparencia - El Salvador. (2017). *Reseña histórica del Instituto Salvadoreño del Seguro Social*.  
<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/iss/documentss/208999/download>

Química Universal. (2020, junio). *Ficha técnica metanol*.  
<https://quimicauniversal.cl/www/wp-content/uploads/2020/08/Ficha-Tecnica-Metanol-2020-min.pdf>

Sánchez, J. F. (2011). *Exploración de un método para la inactivación de formaldehído en el anfiteatro de la Facultad del Valle*. Santiago de Cali, Colombia.

SES. (s.f.). *Evaluación de las condiciones ambientales de las áreas que generan químicos residuales en los laboratorios de anatomía patológica ISSS*.

Tarditi, A. (2007). *Isomerización de xilenos en reactores de membrana: Síntesis y evaluación de membranas compuestas tipo MFI*. (Tesis doctoral, Universidad Nacional del Litoral). <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/61>

Tchobanoglous, G., & Burton, F. L. (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse*. McGraw-Hill.

Weingärtner, H. (2005). *Supercritical water as a solvent*. *Angewandte Chemie*, 117(13), 2672-2692.

# A. ANEXO

## ANEXO 1

	<b>Factor 1 *</b>	<b>0.9959</b>	<b>0.9911</b>	<b>11.8706</b>	<b>966.5667</b>	<b>1.4066</b>				
	<b>Factor 2</b>	<b>0.998</b>	<b>0.8019</b>	<b>33.5685</b>	<b>739.7396</b>	<b>2.3653</b>				
	<b>Factor 3</b>	<b>0.9988</b>	<b>0.7554</b>	<b>83.1273</b>	<b>556.2903</b>	<b>3.7222</b>				
	<b>Factor 1 *</b>	<b>0.9983</b>	<b>0.7227</b>	<b>6.8394</b>	<b>1748.763</b>	<b>1.1696</b>				
	<b>Factor 2</b>	<b>0.9996</b>	<b>0.4162</b>	<b>6.9968</b>	<b>2639.418</b>	<b>1.1829</b>				
Time	Sample ID	Selected	ID as	ID Result	P/F	Qual Rslt	P/F	Constituent	Value	Units
14:24:08	MX_FORM_5G	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	35.3962	%
16:36:35	MX_FORM_5G1	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	34.6662	%
16:38:27	MX_FORM_5G2	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	35.022	%
16:41:20	MX_FORM_5G3	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	35.1235	%
16:43:29	MX_FORM_5G4	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	34.6075	%
16:46:15	MX_FORM_5G5	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	34.5475	%
16:49:09	MX_FORM_5G6	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	35.261	%
									<b>34.9463</b>	
15:34:44	MX_FORM_10G	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	34.1321	%
17:02:30	MX_FORM_10G1	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	33.7775	%
17:04:24	MX_FORM_10G2	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	33.2533	%
17:11:20	MX_FORM_10G3	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	35.0359	%
17:13:16	MX_FORM_10G4	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	33.7207	%
17:16:19	MX_FORM_10G5	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	33.7703	%
17:20:35	MX_FORM_10G6	t_and_std	t_and_std	0	N/A	0	N/A	conc	33.6445	%
									<b>33.9049</b>	

Figura A 1. Detalle de cálculos generados para Formalina en equipo NIR.