



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL DEL INSTITUTO
GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL (IGSS) DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ**

Luis Camilo García Orellana

Asesorado por el MSc. Ing. Norman Leonel Siguí Gil

Guatemala, marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL DEL INSTITUTO
GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL (IGSS) DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS CAMILO GARCÍA ORELLANA

ASESORADO POR EL MSC. ING. NORMAN LEONEL SIGUÍ GIL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. William Ricardo Yon Chavarría
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL (IGSS) DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 15 enero de 2019.



Luis Camilo García Orellana

ADSE-MEAPP-002-2019

Guatemala, 15 de enero de 2019.

Director
Hugo Leonel Montenegro Franco
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del (la) estudiante **Luis Camilo García Orellana** carné número **999000156**, quien optó la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Energía y Ambiente.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

MSc. Ing. Norman Siguí Gil
Ingeniero Sanitarista
Col. 11524

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Norman Leonel Siguí Gil
Asesor (a)

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético



M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc archivo/L.Z.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

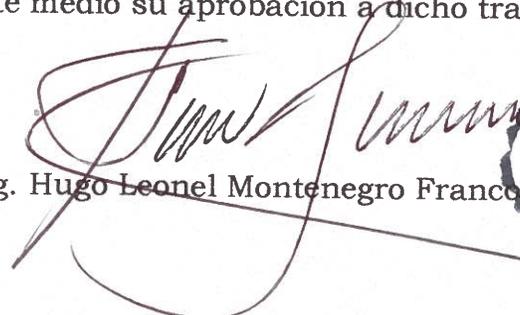
<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesor MSc. Norman Leonel Sigui Gil y del Coordinador del Área de Desarrollo Socio- Ambiental y Energético MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M. , al Diseño de Investigación del estudiante Luis Camilo García Orellana, titulado **CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL IGSS HOSPITAL DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ** quien optó por la modalidad Pregrado-Postgrado, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECTOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, febrero 2019

/mrrm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua

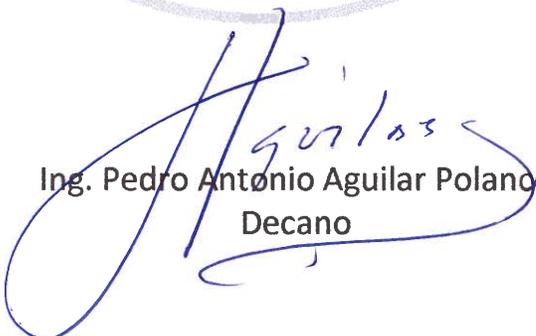




DTG. 158.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL DEL INSTITUTO GUATEMALTECO DE SEGURIDAD SOCIAL (IGSS) DE PATULUL, SUCHITEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Camilo García Orellana**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, proveerme día a día lo que necesito y permitirme alcanzar cada uno de mis objetivos.
- Mis padres** José Antonio García Barrios y Mirtza Yolanda Orellana Marroquín de García, por su esfuerzo, amor, tiempo y dedicación constante que han formado a la persona que soy.
- Mi esposa** Mayra Figueroa Hernández por ser el complemento y ayuda idónea que Dios me ha dado, parte importante en mi vida e inspiración. Gracias por lo que hemos vivido, y lo mucho que nos falta por vivir.
- Mis hijos** Javier y Camila García, por ser el motor de lucha constante y superación en mi vida. Los sueños se construyen con ayuda de Dios, esfuerzo, disciplina, voluntad y dominio propio.
- Mi hermano** Marco Antonio García, por su apoyo incondicional en todo momento de nuestras vidas.
- Familia en general** Por estar ahí, en los momentos que compartimos juntos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y recibirme como parte de una gran familia.
Facultad de Ingeniería	Por prepararme como profesional, Compartir el conocimiento y abrirme las puertas. Gracias por ser parte de tan apreciada Facultad.
Mis amigos de la Facultad	Por su amistad y los momentos compartidos, por esos amigos que se convierten en familia.
Asesor	Norman Leonel Siguí Gil, por su amistad y el apoyo profesional para alcanzar este reto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES:	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	7
4. JUSTIFICACIÓN:	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. Objetivo general	13
5.2. Objetivos específicos.....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Conceptos generales.....	17
7.1.1. Nivel hospitalario en Guatemala	17
7.1.1.1. Primer nivel.....	17
7.1.1.2. Segundo nivel.....	19
7.1.1.3. Tercer nivel	21
7.1.1.4. Cuarto nivel.....	22

7.1.2.	Ordenamiento territorial.....	23
7.1.2.1.	Red municipal de servicios de salud	24
7.1.2.2.	Red departamental de servicios de salud.....	27
7.1.2.3.	Red regional de servicios de salud.....	28
7.1.2.4.	Red nacional de servicios de salud	28
7.1.3.	Categorización o niveles de atención del IGSS.....	29
7.2.	Agua potable en hospitales	30
7.2.1.	Agua potable	30
7.2.2.	Áreas de consumo de agua potable.....	32
7.3.	Tipos de aguas residuales	33
7.3.1.	Aguas residuales domésticas.....	33
7.3.2.	Aguas residuales industriales.....	34
7.3.3.	Aguas residuales hospitalarias.....	34
7.4.	Aguas residuales hospitalarias.....	35
7.4.1.	Fuentes de generación.....	35
7.4.1.1.	Químicos de limpieza	35
7.4.1.2.	Agentes de contraste	39
7.4.1.3.	Áreas de esterilización	41
7.4.1.4.	Lavandería	42
7.4.1.5.	Servicios sanitarios	44
7.4.2.	Características de las aguas residuales	45
7.4.2.1.	Características físicas	45
7.4.2.2.	Características químicas	47
7.4.2.3.	Biológicas	51
7.5.	Normativos y reglamentos.....	52
7.5.1.	Normativos vigentes	52
7.6.	Análisis y diseño de la planta de tratamiento	53
7.6.1.	Tipos de análisis.....	53

	7.6.1.1.	Análisis físico	54
	7.6.1.2.	Análisis químico	55
	7.6.2.	Diseño de la PTAR	57
	7.6.2.1.	Pretratamiento	57
	7.6.2.2.	Tratamiento primario.....	58
	7.6.2.3.	Tratamiento secundario	59
	7.6.2.4.	Tratamiento terciario o tratamiento físico-químico-biológico	62
7.7.		Manejo adecuado de residuos sólidos hospitalarios	64
	7.7.1.	Tipos de desechos.....	64
	7.7.1.1.	Desechos generales o comunes.....	64
	7.7.1.2.	Desechos infecciosos	65
	7.7.1.3.	Desechos especiales	66
	7.7.2.	Separación e Identificación.....	68
	7.7.2.1.	Bolsas plásticas	68
	7.7.2.2.	Envases rígidos	68
	7.7.3.	Formas de disposición final	69
8.		PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO DEL INFORME	71
9.		METODOLOGÍA.....	75
	9.1.	Tipo de estudio	75
	9.2.	Fases del estudio	75
	9.2.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	75
	9.2.2.	Fase 2: estrategia de muestreo y descripción de los elementos utilizados en campo.	76
	9.2.2.1.	Elaboración de esquemas o planos.....	76
	9.2.2.2.	Instrumentos	77
	9.2.2.3.	Proceso de toma de muestras.....	78

9.2.3.	Fase 3: resultados y determinación del tratamiento	81
9.2.3.1.	Resultados de medición de caudal.....	81
9.2.3.2.	Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos	83
9.2.3.3.	Determinación del tratamiento.....	84
9.2.4.	Fase 4: cálculo para los índices	85
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	87
11.	CRONOGRAMA Y RECURSOS NECESARIOS	89
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	91
13.	REFERENCIAS	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ordenamiento del territorio por sector.....	25
2.	Ordenamiento del territorio por municipio	27
3.	Planta de la situación actual del hospital.....	77
4.	Potenciómetro portátil	78
5.	Ubicación del punto de muestreo dentro del hospital.....	78
6.	Ejemplo del instrumento para medición de caudal método vertedero triangular	79
7.	Ejemplo del instrumento para medición de caudal método volumétrico.....	80
8.	Ejemplo del gráfico consumo agua potable durante el tiempo estipulado.....	82
9.	Ejemplo del gráfico descarga de agua residual durante 24 horas establecidas	82

TABLAS

I.	Nomenclatura de los servicios por nivel.....	23
II.	Red de servicios de salud a nivel nacional.....	29
III.	Registro de caudales en los puntos de muestreo	81
IV.	Resultados de análisis fisicoquímicos	83
V.	Resultados de análisis bacteriológicos.....	84
VI.	Cronograma	89

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados centígrados
lts	Litros
l/s	Litros / segundos
m	Metro
m ³	Metros cúbicos
mg	Miligramos
ml	Mililitros
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
%	Porcentaje
Q	Quetzales
s	Segundos

GLOSARIO

Aforo	Medir el caudal de un líquido.
Agua potable	Agua apta para el consumo humano sin que exista peligro para la salud.
Aguas Residuales	Son aguas de cualquier tipo cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica, pueden ser domésticas, industriales y hospitalarias.
Agua subterránea	Masa de agua bajo la superficie terrestre, tanto en el suelo como el subsuelo.
Agua superficial	Es el agua proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a la atmosfera.
Biomasa	Cantidad de materia viva que se encuentra en un medio.
Caldera	Maquina diseñada para generar vapor.
Caudal	Es el volumen de un fluido que pasa por una sección transversal en un tiempo determinado.
Consumo	Es la cantidad de agua en litros que una persona utiliza.

Cuenca hidrográfica	Territorio que es drenado por un único sistema de drenaje natural, a través de un río al mar.
Desechos humanos	Aquellos materiales, sustancias, objetos, entre otros que se necesitan eliminar porque ya no tiene utilidad.
Desfogue	Salida del agua en una red de drenajes.
Desinfección	Proceso físico o químico de matar o inactivar bacterias, virus y protozoos en un cuerpo o lugar.
Esterilización	Proceso por el cual se obtiene un producto libre de microorganismo.
Eutrofización	Contaminación de las aguas provocado por el exceso de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo.
Fango	Es cualquier tipo de lodo con partes semisólidas de las aguas residuales que sedimenta y es atacada por bacterias.
Fitorremediación	capacidad de ciertas plantas de absorber, acumular, metabolizar contaminantes presentes en el suelo.
Materia orgánica	Conjunto de células animales y vegetales descompuestas parcial o totalmente por acción de microorganismos.

Población	Conjunto de seres vivos de la misma especie que habitan un lugar determinado.
Potenciómetro	Instrumento científico utilizado para medir el pH de una disolución por método electroquímico.
Precipitación	Condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie terrestre.
Procesos aerobios	Proceso que se realiza en presencia de oxígeno.
Procesos anaerobios	Proceso que se realiza en total ausencia de oxígeno.
Red de alcantarillado	Sistemas de estructuras y tuberías usados para el transporte de aguas residuales, pluviales o combinadas.
Sedimentos	Conjunto de partículas sólidas depositadas por gravedad en el fondo de un recipiente.

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país con una diversidad de riqueza natural en flora y fauna, la contaminación es uno de los principales problemas a nivel nacional y los recursos hídricos es uno de los más afectados. Las aguas residuales hospitalarias que son vertidas a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento contribuyen a esta contaminación. Cerca del 90 % del agua para consumo humano que llega a cada uno de los hogares está contaminada. En Guatemala el reglamento vigente para las descargas y reúso de aguas residuales es el 236-2006, el cual tiene por objeto establecer criterios y requisitos que deben cumplirse, para proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.

El tratamiento de las aguas residuales es de mucha importancia para disminuir la cantidad de elementos contenidos en estas aguas, la propuesta de un tratamiento será de suma importancia, pues con ello se contribuye con la disminución de contaminación; además, servirá como modelo en el municipio de Patulul y como ejemplo a otras unidades hospitalarias dentro de la región, encaminadas a la conservación del medio ambiente.

Con la propuesta de tratamiento se reducirán los niveles de contaminación a los máximos permitidos y establecidos dentro del normativo vigente, y con esto disminuir la temperatura, la cantidad de materia flotante, los sólidos suspendidos, la cantidad de DBO y DQO presentes en el agua y otros componentes como nitrógeno, fósforo, virus, paracitos, microorganismos, metales pesados y con esto evitar enfermedades.

Para conocer las características de las aguas descargadas se realizarán análisis detallados con un potenciómetro portátil para conocer los componentes dentro de las aguas. Se debe determinar la cantidad de aguas descargadas por medio de aforo volumétrico en un tiempo mínimo de 24 horas, tomando lecturas cada hora. Se extraerán muestra del agua para enviarlas a los análisis de laboratorio y con ello determinar qué tipo de tratamiento es el adecuado.

En el capítulo 1, se hará una revisión bibliográfica sobre los temas relacionados con aguas residuales hospitalarias, niveles hospitalarios existentes, tipos de análisis que se pueden aplicar y los componentes de una planta de tratamiento de agua residual (PTAR). Es importante mencionar el manejo adecuado de los residuos sólidos hospitalarios y los normativos vigentes, los cuales regulan la descarga de agua tratada a los cuerpos receptores. En el capítulo 2, se realizará una descripción del hospital, la localización y ubicación geográfica del inmueble dentro del territorio nacional, el consumo promedio de agua potable y sus indicadores, la descripción del sistema de red de drenaje existente y el manejo de desechos sólidos, ya que un buen manejo de estos influye directamente en la calidad de agua residual. En el capítulo 3, se determinará el diseño del caudal y se realizarán los análisis físico-químicos y bacteriológicos, la relación DBO y DQO para determinar el tratamiento óptimo y dimensionamiento del sistema. Se presentarán los resultados y se discutirán los mismos para dar conclusiones y recomendaciones.

2. ANTECEDENTES

Se han realizado estudios, análisis y reglamentos para el tratamiento de aguas residuales de origen hospitalario, entre los cuales podemos mencionar:

El reactor anaerobio horizontal de lecho fijo RAHLF, “tratando aguas residuales hospitalarias reales mostró un buen desempeño cuando se combinó con un pretratamiento aplicando ozono, la operación fue estable durante los 162 días evaluados. El reactor RAHLF tuvo una eficiencia de remoción de materia orgánica medida como DQO de 85 ± 16 %. Los mejores resultados se observaron en las etapas 3 y 4 que corresponde a una carga orgánica volumétrica de $0,78\pm 0,11$ kgDQO/m³*día y $0,67\pm 0,08$ kgDQO/m³*día respectivamente en los días de operación de 110 a 160. En estas etapas se alcanzaron valores de hasta 96 % de remoción” (Duarte & Gutiérrez, 2013, p.27).

Velásquez (2013) afirma que la eficiencia en la inactivación de la bacteria Escherichia- coli presente en aguas residuales hospitalarias aplicando ozono, combinación ozono/UV y UV. El desinfectante con mayor eficiencia es la combinación ozono/UV principalmente porque con bajos tiempos de contacto se alcanzan valores de 4 Log. Por el contrario la desinfección con radiación UV fue menos efectiva en comparación con las demás, debido probablemente a la presencia de sólidos en suspensión que no permiten que haya una buena absorción de la radiación y por tanto no se inactive correctamente la E-coli. (p.8)

Monge & Del Cid, exponen las características por medio del análisis físico químico y bacteriológico de las muestras tomadas, el cual sirvió para determinar

el proceso de lodos activados, método aireación extendida y los resultados obtenidos en la presente investigación:

La carga contaminante promedio de 157,00 kg/día (0,492 kg/cama/d) de DBO5 y de 290,17 kg/día (0,910 kg/cama/d) de DQO para las condiciones actuales del sistema de evacuación. Si los valores de pH se pueden llegar a mantener en el rango de 6,5 a 8,5 a través de un pretratamiento o un mejor proceso de lavado, es posible darle una depuración de tipo biológico a las aguas residuales del Hospital General de Accidentes. (Monge & Del Cid, 2006, p.109)

La empresa Gestión y Asesoría Jurídico Ambiental realizó el estudio de impacto ambiental del Hospital Ángeles Villahermosa y describe que:

La planta de tratamiento y los procesos ocupa un área aproximada de 80 m². El proceso consiste en un proceso biológico conocido como Aireación Extendida o Digestión Aeróbica. En este proceso, las aguas residuales entran a un tanque de aireación cuyo contenido se mezcla extensivamente con grandes volúmenes de aire a presión, inyectando a cámaras de aireación en profundidad. Las aguas residuales tratadas por la Planta descargadas al arroyo El Espejo, cumplen y deberán seguir cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles que marca la NOM 001 SEMARNAT 1996. (Gestión y Asesoría Jurídico Ambiental S.C., 2000, p.7)

En estudio llevado a cabo, se realizan los análisis físico-químicos de las muestras tomadas dentro del hospital para el tanque de lavandería del sistema de aguas. Los registros de pH obtenidos en el sistema de aguas industriales, presentan valores en un rango entre 7,62 a 10,82 U de pH en la salida,

manteniéndose una tendencia alcalina en el 88 % de las mediciones con valores por encima de 9 U pH. Los resultados de los análisis de laboratorio realizadas a las muestras tomadas para la entrada y salida del tanque de lavandería, con el correspondiente cálculo de la remoción de carga para las variables, DBO5, DQO, presentan valores muy bajos; las variables de sólidos suspendidos total y tensoactivos (detergentes) presentan valores de remoción negativos según las muestras tomadas durante la jornada de muestreo realizada. (Gestión y Servicios Ambientales S.A.S., 2014, p.25)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala es un país con mucha riqueza natural, pero la mala calidad de sus aguas se está convirtiendo en un grave problema. Según datos del Instituto Geográfico Nacional, el país tiene 550 ríos y riachuelos, de los que 38 se consideran grandes ríos, su orografía ha permitido la existencia de más de 1,151 comunidades alrededor o cerca de ellos. No obstante, el 90 % del agua dulce de Guatemala no es apta para el consumo humano. (Elías, 2015)

Se puede demostrar que el caudal de aguas negras que son vertidas sin ningún tipo de tratamiento a los ríos que rodean ciudades y poblaciones se incrementa cada año, debido a la explosión demográfica, ya que Guatemala pasó de tener aproximadamente 6,6 millones de habitantes en 1976 a más de 17 millones en 2015, duplicando la contaminación en ese lapso. (Hernández, 2016)

Las aguas residuales hospitalarias contienen excrementos humanos que por sus características son vías de salida de gérmenes y parásitos que circulan frecuentemente por el cuerpo humano, y por lo tanto representa un foco de infección. Se tienen datos que aproximadamente 250 personas son atendidas por diferentes necesidades en esta unidad hospitalaria, la mayor parte utilizan los servicios sanitarios por lo menos una vez en lo que esperan ser atendidos, por lo que la descarga de agua incrementa cada año con el incremento de los afiliados consecuencia del incremento de la población.

Los químicos utilizados para limpieza y desinfección en cada uno de los ambientes del hospital, son necesarios cada día para mantener en cero los

niveles de transmisión de enfermedades; los cuales en pocas cantidades son vertidos a los drenajes por la limpieza misma que ello conlleva. Este método se utiliza sobre superficies en las que tuvo contacto el materia contaminado, (material médico, pisos y paredes); generalmente es usado para orina, heces, asientos de baño. También se suele usar desinfección química agregando agentes tales como formaldehído entre otros, los cuales actúan contra virus, bacterias y esporas en áreas de mayor contaminación.

Es necesario tomar en cuenta los fluidos corporales que generalmente podemos mencionar: sangre, orina, secreción de heridas que son un potencial peligroso en la transmisión de enfermedades. También se tienen medicamentos que se le suministran a los pacientes con diferentes enfermedades y que son absorbidos parcialmente, y desechados por el cuerpo de manera natural.

Los agentes de contraste se toman muy en cuenta como contaminación, ya que son sustancia en combinación, que al introducidas en el organismo por cualquier vía, permiten resaltar y opacificar estructuras anatómicas normales (como órganos o vasos) y patológicas (por ejemplo, tumores). También evalúan la perfusión y permiten diferenciar las interfaces o densidades entre los distintos tejidos con fines médicos (diagnósticos o terapéuticos). Estos agentes de contraste tiene diferentes vías de administración, entre los cuales podemos mencionar: orales, rectales, vaginales, endovenosos, intraarteriales, intraarticulares, y siendo expulsados todos ellos por el cuerpo humano.

La contaminación progresiva en las fuentes de agua potable y el consumo de aguas no tratadas provocan enfermedades, las cuales generan un gasto económico para mejorar las condiciones de salud del enfermo. Se debe de gastar parte del presupuesto familiar para solventar los trastornos de salud que se generan por estas situaciones de contaminación.

El sistema de alcantarillado que actualmente funciona en el hospital es de tipo combinado, este sistema capta y conduce simultáneamente al 100 % las aguas sanitarias y pluviales; esta característica incrementa el caudal en épocas de invierno. Se estima que aproximadamente los hospitales consumen entre 500 a 1 500 litros/cama/día, el cual se consideran importantes volúmenes de agua, generando otro similar de agua residual con microorganismos patógenos, medicamentos metabolizados o no, compuestos tóxicos y persistentes tales como productos farmacéuticos, radionucleidos, disolventes y desinfectantes para uso médico en un amplio intervalo de concentraciones debido a actividades de laboratorio, investigación o medicación.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Es posible implementar un sistema de tratamiento para las aguas residuales que se generan diariamente en el hospital?

Para responder a esta interrogante se deberá primero contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es la concentración de los componentes presentes en las aguas residuales?
- ¿Qué tipo de tratamiento se puede implementar?
- ¿Cuál es el caudal de agua residual por paciente o número de encamamientos?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de Gestión Ambiental en la sublínea de Gestión y Tratamiento del Agua de la Maestría de Energía y Ambiente. La propuesta para la depuración del agua residual se construye con el objetivo de reducir la carga contaminante que va a desembocar a las redes de drenaje o colector municipal, descargándolas dentro de los rangos permisibles según Acuerdo Gubernativo 236-2006.

La calidad del agua después de su tratamiento, es el motivo principal para defender la salud pública y el medio ambiente, mediante las políticas institucionales en operación, acuerdos gubernativos (AG 60-89, AG 236-2006, AG 129-2015, AG 110-2016), las regulaciones de ley, reglamentos sobre las descargas de aguas residuales.

Debido a que se desconoce el grado de contaminación de las aguas residuales del hospital del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social -IGSS- de Patulul, se consideró de suma importancia realizar análisis para determinar las características del agua residual con la finalidad de evaluar la factibilidad de una propuesta para un sistema de tratamiento que mejorará la calidad del agua generada por las diferentes actividades hospitalarias.

La importancia de la investigación es establecer un sistema o tecnología que disminuya la cantidad de contaminantes del agua que está siendo emitida por el centro hospitalario en estudio. Adicionalmente, esta información es de interés para el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales que, en

muchas ocasiones, por la falta de un historial de la caracterización de las aguas, se proponen datos erróneos que son tomados en cuenta en el diseño para la depuración de las aguas residuales.

Esta investigación establecerá valores de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que podrán servir como guía para el estudio de aguas residuales de otros centros hospitalarios y para las diferentes unidades hospitalarias dentro del mismo instituto a nivel nacional, como referencia bibliográfica para el Ministerio de Salud Pública, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, para la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería y otras universidades, con el fin de cuidar y mejorar el medio ambiente donde se desarrollan los seres vivos.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- Realizar una propuesta de tratamiento de las aguas residuales generadas en el Hospital IGSS de Patulul.

5.2. Objetivos específicos

- Identificar los principales parámetros de contaminación presentes y el caudal de las aguas residuales hospitalarias.
- Identificar los procesos de depuración aptos para el tratamiento de las aguas residuales.
- Establecer una relación entre el caudal de aguas residuales con el número de pacientes atendidos diariamente o número de encamamientos.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La contaminación es uno de los problemas comunes dentro del municipio y la descarga de aguas residuales están incluidas dentro de esta problemática, no hay ningún tipo de tratamiento a ninguna de las aguas descargadas. Por tal razón se tiene la necesidad de disminuir la contaminación para restaurar y disminuir los índices de contaminación, con el fin de conservar y proteger el medio ambiente.

La investigación se analizará por medio de un estudio físico-químico y bacteriológico de las aguas residuales hospitalarias en el punto de descarga, con el fin de desarrollar una propuesta para depurar y disminuir la cantidad de contaminantes del agua que son descargados por esta unidad hospitalaria, implementando una investigación técnica que puede ser un modelo de desarrollo para la comunidad y contribuir con el saneamiento ambiental en la gestión de aguas residuales.

El presente trabajo proporciona información sobre los parámetros que se deben tomar en cuenta para la determinación de la calidad de agua residual en los centros hospitalarios y dejará un modelo que puede ser utilizado para las demás unidades hospitalarias, con el objeto de descargar las aguas hacia un cuerpo receptor y cumplir con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo N0. 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Conceptos generales

A continuación se detallaran los diferentes niveles hospitalarios dentro del territorio nacional, el ordenamiento territorial que tiene cada uno de ellos y las diferentes categorizaciones del IGSS.

7.1.1. Nivel hospitalario en Guatemala

En Guatemala, el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social – MSPAS – determina una red de servicios de salud por medio del Modelo de Atención Integral en Salud (MAIS). “Se distribuye en cuatro niveles de atención (I, II, III y IV) y está compuesta por servicios de salud complementarios y articulados de complejidad creciente de acuerdo a la demanda de los problemas de salud, la población y la territorialidad”. (MSPAS, 2010, p.20)

7.1.1.1. Primer nivel

Se define y diseña este nivel para promover la salud, prevenir y resolver las necesidades más frecuentes de salud de la población, utilizando métodos y tecnologías simples, adecuadas a los diferentes contextos culturales del país. “Así como brindar apoyo en actividades relacionadas a la recuperación y rehabilitación de la salud y acciones dirigidas al control del ambiente. Todo ello en concordancia con las Normas de Atención en Salud del MSPAS” (MSPAS, 2010, p.20).

A continuación se describe cada uno de los servicios que componen el nivel I:

- Centro comunitario de salud (CC)

Este establecimiento es el de menor complejidad en cuanto a atención a la salud, la ubicación de este se determina dentro de las comunidades y es la primera red de servicios a las que las personas tienen acceso. Se trabaja en forma conjunta entre terapeutas tradicionales y actores comunitarios. “Están ubicados en cada sector de salud, cubriendo a una población que puede oscilar entre los 1,200 y 4,000 habitantes. En estos centros, se implementan acciones dirigidas a las personas, la familia y la comunidad, prestando servicios de promoción, prevención”. (MSPAS, 2010, p.47)

- Puesto de salud (PS)

Este establecimiento es similar en características al Centro Comunitario de Salud, “funciona como sede de los Equipos de apoyo técnico a los equipos comunitarios ubicados dentro de cada territorio, a través de los cuales cubre a un promedio de 10,000 habitantes”. (MSPAS, 2010, p.49)

- Centro de salud (CS)

Este establecimiento coordina y enlaza la prestación de los servicios a las personas con los CC, PS y otros servicios de mayor complejidad y capacidad resolutive. “Se determina que deben ser ubicados en microrregiones municipales con cobertura de 20,000 habitantes en promedio. La cantidad de Centros de Salud dependerá fundamentalmente del número total de habitantes y su porcentaje de ruralidad. Los servicios son similares a los prestados por los CC y PS, en forma adicional los

Centros de Salud brindan atención médica, odontológica, psicológica y realizan pruebas de laboratorio para el apoyo diagnóstico”. (Mongue, 2014, p.18)

7.1.1.2. Segundo nivel

Este y el nivel anterior, fueron diseñados para atender los diferentes problemas relacionados a la salud. Tienen mucha similitud pero este nivel se diferencia por el uso de métodos y tecnologías de diagnóstico de los cuales tienen un tratamiento de mayor complejidad como lo es: “Encamamiento, servicios de laboratorio, radiología e incluye especialistas en las áreas de gineco-obstetricia, pediatría, cirugía, medicina interna, psicología y odontología. Brinda apoyo a pacientes en recuperación y rehabilitación de la salud”. (MSPAS, 2010, p.21)

- **Maternidad periférica**

Es aquel “establecimiento que se ocupa de la salud de atención permanente, dedicada a la resolución de parto no complicado y atención del neonato. Tiene como vocación descongestionar la red hospitalaria y se ubica en grandes ciudades con alta densidad poblacional y alta tasa de natalidad con atención a las personas las 24 horas del día”. (MSPAS, 2010, p.52)

- **Centro de atención permanente (CAP)**

Es aquel establecimiento que tiene un horario de atención médica de 24 horas del día “cuenta con servicios de consulta externa, atención, estabilización y referencia de urgencias. Se ubican en municipios que tienen una población mayor de 20,000 habitantes, en áreas geográficas

donde el traslado en vehículo de pacientes, a otro servicio de 24 horas, se lleve más de una hora”. (MSPAS, 2010, p.54)

- Policlínico

La consulta médica especializada es parte de los servicios que proporciona este establecimiento. “Ubicado en cabeceras departamentales o ciudades con perfil epidemiológico que requiere atención especializada. La finalidad de estos servicios es desconcentrar las consultas externas de los hospitales y acercar los servicios especializados a la población. Consta de un área de consulta externa y un área de Hospital de Día”. (MSPAS, 2010, p.53)

- Centro de atención integral materno infantil (CAIMI)

Tiene un horario de atención de 24 horas al día y está enfocado para la atención integral de paciente. “Cuenta con servicios de consulta externa, atención, estabilización y referencia de urgencias. Están ubicados en zonas geográficas con tasa de mortalidad materna por encima del promedio nacional y donde se requiera más de una hora en vehículo para trasladar a una paciente a otro servicio público, que cuente con la capacidad de resolver quirúrgicamente un parto”. (MSPAS, 2010, p.56)

- Hospital tipo I

Este tipo de hospital está incluido dentro de la Red Departamental. “Es el hospital donde se prestan servicios relacionados con atención médica curativa, además de servicios de salud relacionados con promoción y prevención intra hospitalaria y de rehabilitación de base comunitaria. Contará con una cartera de servicios definida por su perfil epidemiológico, brindando servicios de hospitalización con sus componentes según especialidad”. (MSPAS, 2010, p.58)

Cuenta con diferentes servicios que de preferencia debe ser cubierto por médicos especialistas “en cinco áreas básicas de atención, Medicina, Cirugía, Obstetricia, Pediatría y Traumatología básica; de no poder cubrir estos servicios con dicho personal, podrá ser cubierto por médicos generales, con las capacidades y habilidades pertinentes”. (MSPAS, 2010, p.58)

- Hospital tipo II

Este tipo de Hospital “es aquel que además de servicios de salud relacionados con promoción y prevención intra hospitalaria y de rehabilitación de base comunitaria, tiene mayor capacidad resolutoria que el Tipo I, cartera de servicios fortalecida de acuerdo al perfil epidemiológico, prestación de servicios médicos con la presencia de especialistas y equipo diagnóstico adecuado a la oferta de servicios. El número de camas será definido de acuerdo a la demanda, perfil epidemiológico y producción”. (MSPAS, 2010, p.59)

7.1.1.3. Tercer nivel

Este nivel de atención tiene responsabilidad directa con la atención de la demanda de la población y de las referencias provenientes del primer o segundo nivel de atención. “En este nivel se desarrolla las siguientes funciones dependiendo de su tamaño, capacidad de resolución y especialización: promoción de la salud, prevención de enfermedades, curación de enfermedades, rehabilitación de padecimientos físicos o psíquicos, investigación y enseñanza y las emergencias se atienden de forma directa bajo un sistema de referencia y respuesta”. (MSPAS, 2010, p.22)

- Hospital tipo III

Esta estructura “es aquel donde se prestan los servicios médicos integrados, descritos en el tipo I y II, con adición de otras especialidades y unidades de cuidados intensivos. Posee mayor capacidad resolutive en los campos de especialidades médicas y tecnológicas, se incluyen imágenes diagnosticas de alta complejidad. El número de camas será definido de acuerdo a la demanda, perfil epidemiológico y producción”. (MSPAS, 2010, p.60)

7.1.1.4. Cuarto nivel

Cuando los niveles de atención I, II, III no tiene capacidad resolutive se atienden las emergencias y referencias en este nivel. “Las competencias de este nivel de atención sobrepasan la atención ambulatoria y los servicios de internamiento especializado. En él se prestan servicios con sub especialidades, desarrollan investigación y se apoya en procedimientos diagnósticos y terapéuticos que requieren alta tecnología y mayor grado de especialización servicios”. (MSPAS, 2010. p.22)

- Hospital tipo IV

En este nivel los Hospitales están ubicados en áreas urbanas del país que por accesibilidad y demanda de los servicios requieran de alta complejidad para brindar atención a las regiones de salud.

Son hospitales donde se prestan servicios de atención propios de un Hospital General y los servicios de centros especializados en un campo específico de la medicina. En él se concentra lo más especializado en el campo de los recursos humanos y tecnológicos, prestan servicios con subespecialidades, desarrollan docencia e

investigación y se apoya en procedimientos diagnósticos y terapéuticos que requieren alta tecnología y mayor grado de especialización de servicios”. (MSPAS, 2010, p.61)

Tabla I. **Nomenclatura de los servicios por nivel**

Nivel	Nombre	Siglas
1er.	Centros comunitarios de salud	CC
	Puestos de salud	PS
	Centro de salud	CS
2do.	Maternidades periféricas	
	Centros de atención permanente	CAP
	Policlínicos	
	Centros de atención integral materno infantil	CAIMI
	Hospital tipo I	
	Hospital tipo II	
3er.	Hospital tipo III	
4to.	Hospital tipo IV	

Fuente: elaboración propia.

7.1.2. Ordenamiento territorial

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social tiene a cargo reorganizar su Red de Servicios de Salud para garantizar el acceso, optimizar el uso de los recursos y mejorar la calidad de los servicios que se prestan a la población guatemalteca. “Para mejorar el acceso, se destacan las estrategias de consolidación de las redes de prestación de servicios de salud, el

mejoramiento de la capacidad resolutive en la prestación de servicios y el aumento de cobertura de los servicios”. (MSPAS, 2010, p.30)

La red de servicios de salud dentro del territorio nacional se conforma de la siguiente forma:

- Red municipal
- Red departamental
- Red regional
- Red nacional

7.1.2.1. Red municipal de servicios de salud

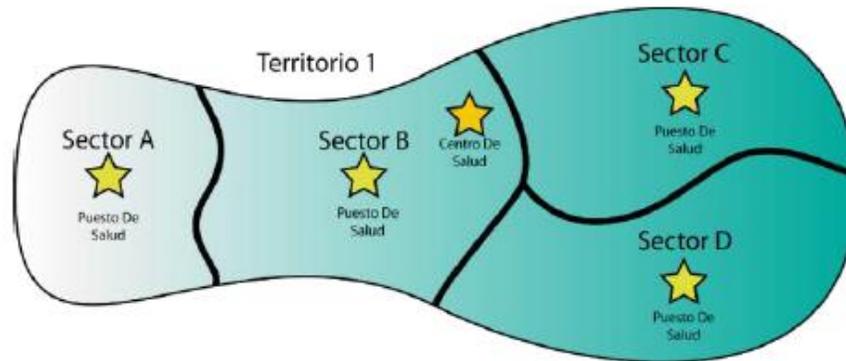
- Sector

Es un espacio geográfico del municipio, que se conforma a partir de la agrupación de un conjunto de comunidades, de acuerdo a accesibilidad, vías de comunicación, aspectos topográficos, demográficos, culturales, lingüísticos, geográficos y climáticos. El MSPAS (2010) define que “en ellos se agrupa una población que puede variar entre los mil doscientos y cuatro mil habitantes (1 200 a 4 000 habitantes). En cada sector se ubica un Centro Comunitario de Salud” (p.30).

- Territorio

“Corresponde a la agrupación de un mínimo de tres (3) y un máximo de (6) sectores, con una población que en promedio tiene diez mil habitantes (10 000). Además, de los Centros Comunitarios de Salud, en cada territorio debe ubicarse un Puesto de Salud”. (MSPAS, 2010, p.30)

Figura 1. **Ordenamiento del territorio por sector**



Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2010.

- **Microrregión municipal**

El MSPAS define microrregión municipal como la agrupación de varios territorios. El número de microrregiones dentro de un municipio depende de la población total y el porcentaje de población que vive en condiciones rurales.

Se puede definir tomando como referencia los parámetros siguientes:

- a. Los municipios que tienen un porcentaje alto de población que vive en condiciones rurales tendrán una microrregión por cada cuarenta mil (40 000) habitantes.
- b. Los municipios que tiene un porcentaje medio de población que vive en condiciones rurales, tendrán una microrregión por cada sesenta mil (60 000) habitantes.
- c. Los municipios que tiene un porcentaje bajo de población que vive en condiciones rurales, tendrán una microrregión por cada cien mil (100 000) habitantes. En cada Microrregión Municipal, debe ubicarse un Centro de Salud. (MSPAS, 2010, p.31)

- Región municipal

El MSPAS define esta región como la agrupación de dos o más microrregiones municipales, por lo que se identifican en aquellos Municipios de mayor tamaño y concentración poblacional.

El número de regiones dentro de un municipio, se definirá tomando como referencia los siguientes parámetros:

- a. Los municipios que tienen un porcentaje alto de población que vive en condiciones rurales tendrán una región por cada de población que vive en condiciones rurales ochenta mil (80 000) habitantes.
- b. Los municipios que tienen un porcentaje medio de población que vive en condiciones rurales, tendrán una región por cada ciento veinte mil (120 000) habitantes.
- c. Los municipios que tienen un porcentaje bajo de ruralidad, tendrán una región por cada dos cientos cincuenta mil (200 000) habitantes. En cada Región deberá ubicarse un Centro de Atención Permanente. (MASPAS, 2010, p.31)

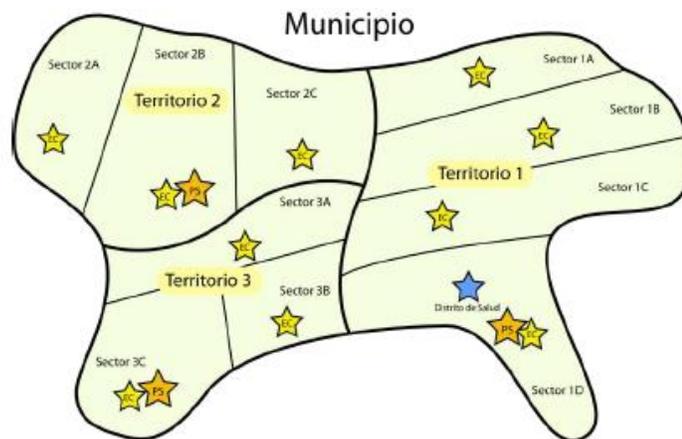
- Municipio

La unidad básica de la organización territorial dentro del Estado es el Municipio y en él se establece la Red Municipal de Servicio de Salud.

Esta unidad básica está conformada por Centros Comunitarios de Salud, Puestos de Salud, Centros de Salud y/o Centros de Atención Permanente. A los Municipios que tienen una población menor de 20,000 habitantes se les asignara al menos un Centro de Salud. Mientras que a los Municipios que tienen una población mayor de 20,000 deberá asignarse al menos un Centro de Atención

Permanente. La cantidad de CS y CAP adicionales en cada Municipio dependerá del número de Microrregiones y Regiones Municipales definidas para cada uno. (MSPAS, 2010, p.31)

Figura 2. **Ordenamiento del territorio por municipio**



Fuente: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2010.

7.1.2.2. Red departamental de servicios de salud

- **Microrregión departamental**

A esta microrregión le “corresponde a la agrupación de 4 o más municipios, con una población promedio de cuatro cientos mil (400,000) habitantes. Si la agrupación poblacional, cuenta con un perfil epidemiológico que lo amerite o tiene situación territorial específica, se deberá considerar la instalación de un Hospital tipo I”. (MSPAS, 2010, p.31)

- Departamento

Dentro del territorio nacional es la división administrativa. “En ellos se ubica la Red Departamental de Salud, que está conformada por los servicios de salud descritos en la Red Municipal, los Hospitales tipo I de las Microrregiones departamentales y adicionalmente, pueden ubicarse los Centros de Atención Materna Infantil (CAIMI), los Policlínicos y los Hospitales tipo II, quienes realizarán funciones específicas de atención asistencial sin descuidar las funciones de promoción y prevención de la salud”. (MSPAS, 2010. p.31)

7.1.2.3. Red regional de servicios de salud

El MSPAS (2010) establece “la regionalización territorial se basará en la ley o normativa que regula su distribución, en la cual se establecen 8 regiones. En cada región, se ubica la Red Regional de Servicios de Salud, que además de conformarse por las redes ya descritas, cuentan con un Hospital tipo III” (p.32).

7.1.2.4. Red nacional de servicios de salud

El MSPAS (2010) establece que “el Territorio Nacional de la República de Guatemala, está compuesto por 8 Regiones, 22 Departamentos y 335 Municipios, en los cuales se establece la Red Nacional de Salud que además de las Redes de Servicios de Salud Municipal, Departamental y Regional, agrupan a los Hospitales tipo IV” (p.32).

Tabla II. **Red de servicios de salud a nivel nacional**

Ámbito Geográfico	Criterio Demográfico (habitantes)	Servicios de Salud	Red Mun	Red Dep	Red Reg	Red Nac
Sector	1 200 a 4 000	Centro Comunitario	I	I	I	I
Territorio	10 000	Puesto de Salud	I	I	I	I
Micro Región Municipal	40 000 a 100 000	Centro de Salud	I	I	I	I
Región Municipal	80 000 a 200 000	CAP	II	II	II	II
Municipio	Todos los del municipio	CS/CAP	II	II	II	II
Micro Región Departamental	400 000	Hospital Tipo I		II	II	II
Departamento	Todos los del departamento	CAIMI, Policlínico, Hospital Tipo II		II	II	II
Región	Todos los de la región	Hospital Tipo III			III	III
Territorio Nacional	Todos los del territorio nacional	Hospital Tipo IV				IV

Fuente: elaboración propia.

7.1.3. **Categorización o niveles de atención del IGSS**

El Instituto Guatemalteco de Seguridad Social cuenta con diversas Unidades Médicas, distribuidas, tanto a nivel metropolitano como departamental.

Actualmente se cuenta con Unidades Integrales de Adscripción, Acreditación de Derechos y Despacho de Medicamentos, así también hay Consultorios, Hospitales y Unidades Periféricas (zona 5 y zona 11),

algunos de mayor o menor envergadura que otros dependiendo de la demanda y capacidad instalada de servicios. La mayor demanda de servicios médicos está centrada en la Ciudad Capital de Guatemala, en particular los servicios especializados. Dentro del área metropolitana se encuentran diversos centros médicos especializados los que sirven de referencia para otras Unidades, tales como la Policlínica, la Unidad de Consulta Externa de Enfermedades, Hospital General de Enfermedades, Hospital General, Dr. Juan José Arévalo Bermejo, Hospital de Gineco-Obstetricia y Hospital General de Accidentes, Hospital de Rehabilitación. (IGSS, 2010, p.4)

7.2. Agua potable en hospitales

El agua es un recurso vital para el ser humano, el cual es necesario para el consumo y para diferentes actividades dentro de un hospital. El uso puede variar, puede ser en servicios sanitarios, en la limpieza y desinfección de diferentes ambientes, áreas de lavandería, cocina y el uso para jardinería entre otros.

7.2.1. Agua potable

Este recurso es objeto de investigación en muchas áreas en las que se pueden mencionar residencias, industrias, comercios, áreas agrícolas entre otras. El agua para consumo humano intrahospitalaria (ACHI) ha sido objeto de investigación y polémica en diferentes países del mundo.

Esta afirmación se fundamenta en varias razones. La primera es la calidad del agua de la fuente que abastece el hospital, que por lo general proviene de un acueducto o de un pozo o naciente perteneciente al propio

nosocomio. La segunda consiste en que muy pocos directores de hospitales reconocen que el servicio de ACHI es su responsabilidad; la tercera es que la mayoría de las autoridades sanitarias consideran suficiente que el agua cumpla, microbiológicamente, con el reglamento de cada país. En un reciente estudio realizado por la Clínica Mayo de la Escuela de Salud Pública Johns Hopkins Bloomberg, y que fue publicado en la revista *Journal of Surgical Research*, se concluyó que: el agua potable es un reto pendiente de al menos una tercera parte de los hospitales del mundo. (Darner, 2016)

El estudio analizó la situación de 430 hospitales de 19 países, y entre sus conclusiones se indica que el 34 % de esas instituciones no tienen acceso confiable a agua potable, lo cual genera serios inconvenientes a la hora de hacer intervenciones quirúrgicas y tratar a los pacientes. Para obtener estas conclusiones, los investigadores analizaron datos de la OMS y estudios publicados en Pub-Med, uno de los más importantes medios de búsqueda de artículos médicos. Dentro de los indicadores considerados en el mencionado estudio está el porcentaje estimado de los países con una fuente confiable de agua, en el que dichosamente Costa Rica ocupó el segundo lugar en Latinoamérica con el 91,3 % esto, según (Darner, 2016).

Cuando se habla de Hospitales se dice que son grandes consumidores de agua. “Los reportes de consumo elaborados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) indican que los rangos varían entre 150 litros/cama/día hasta 1325 litros/cama/día. El consumo de agua depende de la edad de la instalación, tipo de construcción, tipo de hospital y uso del agua”. (Hospital de León Becerra, 2017, p.3)

7.2.2. Áreas de consumo de agua potable

En gran medida la prestación de servicios de salud en la mayoría de los países en desarrollo el consumo “se produce en contextos donde las instalaciones municipales de tratamiento o suministro de agua son inadecuadas o no existen. Esta falta de agua y de infraestructura sanitaria es uno de los principales problemas que afectan directamente a los hospitales y a los sistemas de salud, ya sea porque los sobrecargan con una mayor incidencia de enfermedades en la población, o porque les impiden contar con servicios básicos de suministro de agua, cloacas y disposición de residuos para cumplir con su misión, o por ambas razones”. (Red Global de Hospitales Verde y Saludables, 2015)

Cuando se tiene de una amplia reserva de agua, los hospitales suelen ser voraces consumidores en varias facetas de sus operaciones. En los Estados Unidos, por ejemplo, hasta el 70 % del consumo hospitalario de agua se destina a procesos que van desde los relacionados con equipos mecánicos hasta el transporte de aguas servidas; aproximadamente el 30 % se utiliza para beber, preparar alimentos, bañarse y lavarse las manos. En general, existen pocos parámetros de referencia globales confiables en cuanto al consumo de agua del sector de la salud. En general, los establecimientos de salud pueden conservar los recursos hídricos midiendo cuidadosamente el uso del agua, instalando artefactos y tecnologías que la utilicen de manera eficiente, cultivando plantas resistentes a las sequías y procurando la pronta reparación de las pérdidas. (Red Global de Hospitales Verde y Saludables, 2015)

El agua potable se emplea en usos generales como:

- Instalaciones sanitarias de habitaciones de pacientes y público general
- Lavandería
- Aseo y limpieza de las instalaciones
- Cocina y restaurantes
- Jardines
- Laboratorios clínicos
- Clínicas de atención
- Central de equipo y esterilización

7.3. Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales podemos definir las como aquellas que por uso del hombre contienen gran cantidad de sustancias y microorganismos. Las podemos clasificar como domésticas, industriales y hospitalarias.

7.3.1. Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación.

Comúnmente se les conoce también como aguas servidas o aguas negras y la importancia de su tratamiento y descontaminación radica en la posibilidad de devolver el líquido a afluentes naturales, sin que represente un peligro para los seres vivos que tengan contacto con él, lo que constituye una forma de aprovechamiento del vital líquido, sobre todo en

países que presentan escasez del mismo, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. (Castro, 2014)

7.3.2. Aguas residuales industriales

Se puede definir las aguas residuales industriales como las que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua.

Este tipo de aguas son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria. A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Contienen casi todos los tipos de contaminantes: minerales, orgánicas, térmicos por las aguas de refrigeración, entre otros componentes. (Monitha, 2010)

7.3.3. Aguas residuales hospitalarias

Las aguas residuales para hospitales constituyen una importante descarga de productos químicos pero este hecho no es único en este sentido. “También los residuos de productos farmacéuticos se pueden encontrar en todos los tratamientos de aguas residuales, vegetales efluentes, debido a su eliminación ineficiente en los sistemas convencionales donde es difícil distinguir estos productos. Se originan a partir de los hospitales conectados a la red de alcantarillado y de los usuarios. Para las sustancias tales como yodado medio

de contraste de rayos X, que se utilizan para la formación de imágenes de rayos X de tejidos blandos”. (SPENA GROUP, 2015)

7.4. Aguas residuales hospitalarias

Realizando análisis a las aguas residuales podemos “evaluar el impacto de la actividad hospitalaria sobre los recursos hídricos es la determinación de la carga contaminante asociada al caudal de aguas residuales que se genera diariamente. Puede estimarse que el 80 % del volumen de agua consumido en un hospital en un día corresponde a la generación de aguas residuales; un porcentaje elevado se disipa mediante evaporación”. (Ergueta, 2016, p.93)

7.4.1. Fuentes de generación

Las fuentes de generación pueden variar dentro de un hospital, dependen básicamente del uso que se le dé al agua y esto determinara la concentración de químicos o materia en ella.

7.4.1.1. Químicos de limpieza

Dentro de los desinfectantes que se utilizan como químicos de limpieza existe una gran variedad, actúan reduciendo y matando células bacterianas por desactivación de enzimas, hidrólisis, y oxidación, funcionando de forma más selectiva que los antisépticos.

Estos químicos, debido a su alta toxicidad sólo se pueden aplicar sobre materia inerte. Los desinfectantes deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Servir contra un amplio espectro de microorganismos patógenos.

- Asequibles a bajo coste, dadas la cantidades necesarias para efectuar la limpieza y desinfección en este tipo de instalaciones de grandes dimensiones.
- Actuar eficazmente en los más cortos espacios de tiempo.
- No producir efectos tóxicos durante su uso o posteriormente por acción residual, pero sin embargo deben actuar incluso tiempo después de su aplicación, conservando sus propiedades.

Cada una de estas condiciones son necesarias para disminuir a cero la transmisión de patógenos. Los diferentes desinfectantes que se mencionan tienen una clasificación según su grado de eliminación de microorganismos, esporas o virus:

- Desinfectantes de alto nivel, este tipo de desinfectantes acaban con todo tipo de microorganismos (esporas, bacterias y hongos), se encuentran disueltos al 2 % y se puede mencionar el glutaraldehído.
- Desinfectantes de nivel medio, en este grupo se encuentra el hipoclorito de sodio que actúa directamente sobre una amplia variedad de microorganismos sin efecto alguno sobre las esporas.
- Desinfectantes de bajo nivel, se puede mencionar el amonio cuaternario en una disolución con un porcentaje de 0.2 en H₂O. Eficaz en la eliminación de algunos tipos de virus y bacterias en estado vegetativo. Cada uno de estos desinfectantes se aplican según la necesidad de cada área y el grado de contaminación que posee. (Limpiezas SIL, 2017)

Se describen a continuación algunas características y propiedades de los desinfectantes hospitalarios más utilizados:

a) Solución de glutaraldehído

Uno de los más utilizados dentro de los desinfectantes “por su amplio espectro de actuación, pero tiene propiedades tóxicas tanto durante su uso en la limpieza, como en el contacto posterior, por lo que debe ser totalmente eliminado con agua, antes de utilizar los objetos y superficies. Se utiliza para la esterilización de material sanitario delicado y con piezas de goma, pvc o caucho”. (Limpiezas SIL, 2017)

Cuando se determina que hay restos de materia orgánica, “es indispensable realizar una limpieza previa por arrastre mecánico, para evitar que ésta forme una barrera que inactive o disminuya el potencial desinfectante de este producto. Su eficacia depende el tiempo de exposición, de tal manera que si se aplica durante un cuarto de hora las superficies y materiales contarán con un nivel bajo de desinfección, mientras que si se someten a una exposición durante 12 horas, se consigue la esterilización del material”. (Limpiezas SIL, 2017)

b) Formaldehído

Este compuesto químico se puede utilizar “en concentración de entre el 2 y 8 %, y se trata de uno de los desinfectantes químicos de acción lenta que pueden acabar con las esporas en un período de aproximadamente 18 horas después de su aplicación. Se presentan en formato de vapor y aerosol para desinfección de equipos y superficies, mobiliario, y telas en habitaciones de hospitales, y en mayor concentración para desinfectar materiales y equipo quirúrgico. Hay que utilizar con

protección para evitar irritaciones de vías respiratorias por inhalación”. (Limpiezas SIL, 2017).

c) Hipoclorito de sodio disuelto al 1 % o 5 % en agua

Este compuesto químico tiene un alto poder al momento de desinfectar “pero no se puede utilizar sobre metal por su propiedad corrosiva, y su eficacia está más limitada en presencia de restos orgánicos. En mayor concentración actúa bien para la desinfección de material quirúrgico, y materiales plásticos. Hay que utilizar con protección en las manos”. (Limpiezas SIL, 2017)

d) Alcohol etílico

“Es muy eficaz en tratamientos de desinfección de bacterias, hongos y virus, pero no funciona para destruir esporas. Se utiliza en concentraciones de un 70 % disuelto en agua”. (Limpiezas SIL, 2017)

e) Compuestos de Amonio cuaternario

“Son muy utilizados en la desinfección de superficies en hospitales, aparatos sanitarios e instrumental médico con la particularidad de que no es un producto corrosivo y tampoco ataca el color”. (Limpiezas SIL, 2017)

f) Antisépticos hospitalarios

Estos productos químicos “se utilizan en la higiene y desinfección de la piel, se utilizan antisépticos para el lavado clínico y quirúrgico de manos por parte del personal sanitario antes de intervenciones, y en atención a pacientes con bajos sistemas inmunitarios, o con enfermedades infecciosas. Los antisépticos funcionan por destrucción de proteínas”. (Limpiezas SIL, 2017)

Este tipo de compuestos tienen características como:

- Tiene una rápida acción tras unos pocos segundos de su aplicación, cuentan con un gran poder desinfectante, lo cual lo hace eficaz en poco tiempo.
- Tiene efectos sobre los microbios en un tiempo prolongado.
- Produce un efecto de resequedad en la piel en algunos de los casos, pero se tiene seguridad que en la piel no produce importantes alteraciones.

A continuación se presentan algunos antisépticos que son más utilizados y se detallan algunas de sus características:

- Alcoholes etílicos, propílicos e isopropílicos: “se utilizan habitualmente en una concentración del 70 %, y por ser altamente inflamables y volátiles, deben ser almacenados en condiciones adecuadas y de forma cuidadosa”. (Limpiezas SIL, 2017)
- Derivados fenólicos, “como el triclosán de amplio espectro sobre bacterias y de poder de actuación con una rapidez intermedia, que se utiliza en el lavado de manos principalmente”. (Limpiezas SIL, 2017)
- Tintura de yodo: “es un poderoso antiséptico compuesto de yodo y alcohol, que oxida y desactiva las células de forma rápida y segura, conservando sus propiedades incluso después de una hora de su aplicación. Pueden producir quemaduras sobre piel expuesta durante un largo tiempo”. (Limpiezas SIL, 2017)

7.4.1.2. Agentes de contraste

Los medios de contraste radiológicos son administrados en forma diaria a miles de pacientes. Las mejoras fármacoquímicas logradas en las últimas

décadas mejoraron notablemente su seguridad y eficacia. “El realce de contrastes denota el principio por el cual el contraste de varios tejidos es incrementado durante un examen de imágenes utilizando medios de contraste intrínseco o extrínseco. Esto se logra aumentando o disminuyendo el contraste de un tejido en relación a otro. La combinación de los nuevos métodos de Diagnóstico por Imágenes es capaz de caracterizar la mayoría de los tejidos del cuerpo humano”. (García, R., Ocantos, J., Paganini, L., 2010, p.3)

Gran parte de los estudios de radiología e imagen requieren el uso de medios de contraste (MC), con el propósito de incrementar las diferencias de densidad entre los diversos tejidos y estructuras del organismo por su capacidad de absorber y reflejar energía. “Un buen medio de contraste modifica las características de los tejidos e idealmente no debería tener ningún otro efecto sobre los mismos. Desafortunadamente, esto no es posible en la actualidad y todos los medios de contraste pueden causar reacciones adversas e indeseables”. (Ambulsdegui, 2014, p.2)

Los fármacos empleados en la generación de bio-imágenes representan un grupo extenso y complejo de sustancias cuyas propiedades físico-químicas producen señales diferenciadas en un entorno anatómico y funcional, con utilidad en el proceso diagnóstico, y que además pueden administrarse a los seres humanos en condiciones seguras. A modo de clasificación, señalamos:

- Medios de contraste radiológico y tomográfico
- Medios de contraste para resonancia magnética nuclear (RMN)
- Medios de contraste para ecografía
- Radiofarmacos

7.4.1.3. Áreas de esterilización

En todas las superficies dentro de las áreas de un hospital es necesaria “la limpieza, desinfección y esterilización de superficies, son procesos que están orientados a la minimización de la transmisión de infecciones en entornos clínicos u hospitalarios. Esta guía no pretende ser exhaustiva y únicamente ofrece un resumen de material de limpieza necesario en clínicas o ámbito hospitalario. En este artículo distinguiremos claramente cuatro zonas distintas dentro de la clínica: Oficina, quirúrgica, aseos y zonas comunes”. (CLIM PROFESIONAL, 2015)

- Zona de oficina y mobiliario

La limpieza debe ser igual a la del resto de espacios aunque no tenga contacto directo con clientes ni zonas quirúrgicas. “En esta sección se utilizarán bayetas de microfibra para polvo y muebles, o bien un captapolvo o limpiador multisuperficie con bioalcohol que tenga rápida evaporación y deje agradable olor a limpio”. (CLIM PROFESIONAL, 2015)

- Zona quirúrgica

Las técnicas de limpieza y esterilización que se emplean normalmente para los diferentes instrumentos y materiales quirúrgicos se realizan a través de los CEYES. “La zona quirúrgica es la más sensible y se deben utilizar limpiadores desinfectantes y bactericidas con registro biocida en el día a día, es muy importante utilizar bayetas diferenciadas por colores para no mezclar superficies. Estas recomendaciones se deben aplicar para todo tipo de superficies, incluidos suelos y pavimentos. No utilizar aquí ambientadores ni por aerosol ni ningún tipo de formato”. (CLIM PROFESIONAL, 2015)

- Zonas comunes y de espera

En estas áreas de uso común para todas las personas, la utilización de instrumentos de limpieza como carros multifunción facilita las actividades del colaborador encargado del aseo. En dichos carros “se puede transportar todo tipo de material de limpieza para la clínica, desde recambios de papel higiénico, bolsas de basura y todos los productos químicos necesarios. Al igual que las zonas de oficina se deben utilizar limpiadores con bioalcohol para mobiliario y mopas planas para suelos”. (CLIM PROFESIONAL, 2015)

- Central de equipos y esterilización

La central de equipos y esterilización (CEYE) es un servicio de la Unidad Médica cuyas funciones son: Obtener, centralizar, preparar, esterilizar, clasificar y distribuir el material de consumo, canje, ropa quirúrgica e instrumental médico quirúrgico a los servicios asistenciales de la Unidad Médica. El objetivo de la CEYE es asegurar la distribución adecuada de equipo, material e instrumental de manera oportuna y con la optimización de tiempo y recursos, para que en forma ininterrumpida (las 24 horas del día y los 365 días del año) los artículos requeridos por los servicios médico-quirúrgicos sean proporcionados para el logro de sus actividades.

7.4.1.4. Lavandería

El lavado es un proceso con el objetivo de no causar o transmitir enfermedades humanas, esto se logra removiendo la suciedad orgánica que la ropa acumula dentro de sus tejidos. “No existen estándares microbiológicos que definan niveles "seguros" de bacterias en la ropa debido a la variabilidad de la sobrevida microbiana, el grado de suciedad, las técnicas específicas empleadas

de lavado, y la capacidad de varios organismos de adherirse a ciertas telas”. (Montalvo, 2012, p.89)

Para obtener un producto bacteriológicamente seguro, son necesarios factores que son importantes dentro del proceso de limpieza de la ropa. Dentro de los factores se incluyen los químicos y térmicos en combinación de acción mecánica para su lavado. Montalvo (2012) especifica algunos factores importantes:

- Para la eliminación de un gran número de gérmenes es necesaria la dilución y la agitación.
- Una medida muy efectiva es el agua caliente en combinación con detergentes y jabones ejercen una acción microbicida y liberan la suciedad.
- Para la eliminación de la suciedad es necesario el enjuague producto de una acción mecanizada así como la aplicación de agua en todo el proceso determina una importante dilución.
- Para generar una mayor destrucción entre 50 a 150 ppm, se puede utilizar químicos clorados, esto determina un efecto virucida y bactericida.
- Los gérmenes que no forman esporas se destruyen a temperaturas de 60 °C o mayores.

El neutralizante agregado durante el proceso de limpieza “produce un cambio brusco de pH de 12 a 5, con lo que completa la destrucción microbiana, ayuda en la inactivación de microorganismos y reduce el riesgo de irritación de la piel. El secado y planchado (si es realizado) complementa aún más la destrucción de organismos”. (Montalvo, 2012, p.90)

Toda ropa debe de pasar por un tratamiento de eliminación del pH alcalino, “para evitar la irritación de la piel, siempre se debe usar neutralizante. Los blanqueadores con cloro son económicos y tienen un excelente efecto germicida, pero no son aptos para procesar todo tipo de ropa. Por ejemplo, el gluconato de clorhexidina (un antiséptico de amplia difusión y uso en nuestro medio) produce manchas en la ropa cuando ha mojado la misma y ésta es sometida a procesos de lavado con cloro. El cloro fija la mancha de clorhexidina en la ropa y su retiro posteriormente es casi imposible. Por ello, los textiles manchados con clorhexidina NUNCA deben ser sometidos a procesos con cloro, sino que se debe optar por perborato de potasio o productos hidrogenados para su procesamiento”. (Ministerio de Salud Pública de Uruguay, 2006, p.12).

7.4.1.5. Servicios sanitarios

“Los baños y aseos han de estar siempre limpios en todo momento. Utilizar limpiadores clorados pues desinfecta y dejan olor agradable y no irritante como la lejía. También puede utilizarse en suelos. Utilizar siempre guantes para protegernos de los productos químicos” (CLIM PROFESIONAL, 2015).

Los servicios sanitarios son generalmente ubicados según la utilización de los mismos y se dividen:

- Para uso público en general
- Por uso del personal del hospital
- Para personas internas
- Para áreas de aislamiento

7.4.2. Características de las aguas residuales

“Los problemas asociados a los líquidos residuales generados en centros de salud han sido motivo de preocupación internacional debido al peligro de una potencial propagación de enfermedades y a los riesgos ambientales derivados de la ausencia de tratamientos adecuados. Es por ello que estos problemas trascienden el campo técnico-sanitario e involucran aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales, entre otros”. (Paz, M., Muzio, H., Gemini, V., Magdaleno, A., Rossi, S., Korol, S., & Moretton, J., 2004, p.83)

En este contexto la División de Apoyo Operacional en Salud Ambiental y el Centro Europeo de Salud Ambiental de la OMS han formado un grupo internacional para estudiar el problema de los residuos en los centros de salud en países en desarrollo. “En las aguas residuales es el resultado de tres tipos de materiales materia orgánica que es utilizado como fuente de alimentación, nitrógeno oxidable y de compuestos químicos reductores presentes de las reacciones dentro del cuerpo de agua”. (Morán, 2014, p.2.)

7.4.2.1. Características físicas

- **Sólidos**

Los sólidos están contenidos dentro de las características físicas. “El agua residual contiene distintos tipos de materiales sólidos que van desde hilachas hasta materiales coloidales, en la caracterización de las aguas, los materiales más gruesos son removidos usualmente antes de analizar los sólidos”. (Morán, 2014, p.2).

- Turbiedad

Se toma como una medida de las propiedades de la dispersión de la luz en el agua, “usualmente se utiliza para indicar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales tratadas haciendo relación al material en suspensión. La medición se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por suspensión de contraste en las mismas condiciones”. (Morán, 2014, p.3)

- Color

El color en las aguas residuales es “causado por los sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por los sólidos suspendidos es llamado color aparente y el que es causado sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero, este último se obtiene al filtrar la muestra. El color se determina comparando el color de la muestra y el color que se produce por soluciones de diferentes concentraciones de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6)”. (Morán, 2014, p.3)

- Olor

El olor del agua residual es “genera por una gran variedad de compuestos malolientes que son liberados cuando se produce degradación biológica bajo condiciones anaerobias de las aguas. El principal compuesto es el sulfuro de hidrógeno aunque se generan otros compuestos que producen olores más fuertes como indol, eskatol y mercaptanos”. (Morán, 2014, p.4)

- Temperatura

La temperatura a la que se encuentra generalmente estas aguas “es mayor que a la del abastecimiento, esto como consecuencia de la

incorporación de agua caliente proveniente de las descargas domésticas. Esta medición es importante ya que en los sistemas de tratamiento de aguas residuales hay procesos biológicos que dependen de la temperatura. También afecta directamente las reacción químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y procesos biológicos de los sistemas”. (Morán, 2014, p.4)

- Conductividad

Es “la capacidad de una solución para transmitir la corriente eléctrica. Actualmente la importancia de este parámetro es para determinar la posibilidad de uso de una para riego. Esta se expresa en microohms por centímetro”. (Morán, 2014, p.4)

7.4.2.2. Características químicas

- Ph

Para conocer la calidad del agua se realiza una de las prueba de pH que está dentro de las más comunes a las aguas residuales. “El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H^+). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7,0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7,0 se consideran ácidos”. (Carbotecnia, 2014)

Las aguas residuales con valores menores a 5 y superiores a 9 tienen un tratamiento más complicado mediante agentes biológicos. “Si dicho pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido nuevamente al cuerpo de agua, el pH de este cuerpo receptor será alterado; de allí la necesidad de que los efluentes de las plantas deben ser

descargados dentro de los límites específicos para descargas a cuerpos receptores”. (Morán, 2014, p.4)

- Alcalinidad

Las aguas de origen residual poseen alcalinidad en ciertas ocasiones. “En aguas residuales, la alcalinidad estará ligada a la presencia de hidróxidos (OH^-), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-) de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio y del ion amonio, la alcalinidad en las aguas residuales ayuda a regular las variaciones en el pH causado por la adición de ácidos”. (Gil & Tarache, 2010, p.38)

- Cloruros

Los cloruros en las aguas residuales son un parámetro importante relacionado con la reutilización de esta; “estos en condiciones naturales provienen de los cloruros lixiviados de las rocas y los suelos con los que se tienen contacto. En las aguas residuales los cloruros son añadidos como consecuencia del uso, las heces humanas tienen un aporte aproximado de 6g de cloruros por persona/ día”. (Gil & Tarache, 2010, p.39)

- Gases

Los diferentes gases “disueltos tales como amoníaco, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, metano y oxígeno; esto con la finalidad de ayudar en la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las mediciones de oxígeno disuelto y amoníaco se realizan para monitorear y controlar los procesos que tengan una depuración biológica aerobio”. (Morán, 2014, p.6)

- Oxígeno disuelto

En la medición para determinar la calidad del agua el oxígeno disuelto es uno de los parámetros claves los valores de oxígeno varían de 7 a 9 mg/L. “La principal fuente de oxígeno es el aire en difusión con el agua, por la turbulencia en los cuerpos de agua y por el viento. Por ejemplo, en los lagos la fotosíntesis es la fuente más importante y en los ríos el nivel de turbulencia que estos posean, determinará tanto la producción primaria como su grado de eutrofización”. (Morán, 2014, p.6)

- Metales

Se tiene mucho interés en cuanto a los metales, “en la parte de tratamiento, reutilización y vertimiento de los lodos y efluentes ya tratados, ya que todos los organismos necesitan para su adecuado desarrollo elementos tales como hierro, cromo, cobre, zinc en diferentes cantidades. Aunque los metales estén en cantidades micro o macro y sean necesarios para el desarrollo biológico, estos pueden convertirse en tóxicos cuando se presentan en cantidades elevadas”. (Morán, 2014, p.6)

- Nitrógeno

La importancia del nitrógeno radica en que es esencial para la síntesis de proteínas, “necesitan conocer sobre la presencia de este nutriente para evaluar el tratamiento del agua residual mediante procesos biológicos. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico”. (Gil & Tarache, 2010, p.36)

- Fósforo

Este elemento se puede decir que “tiene relevancia en el crecimiento y desarrollo de distintos organismos en un cuerpo de agua, pero ya en

cantidades excesivas provoca una proliferación de algas y otros organismos biológicos perjudiciales. Las formas más comunes en las que se puede encontrar el fósforo son los ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. Los ortofosfatos más comunes de las aguas residuales están disponibles para el metabolismo biológico sin necesidad de que los organismos tengan que realizar una ruptura posterior del mismo”. (Morán, 2014, p.6)

- Azufre

Este se puede encontrar de forma natural tanto “en las aguas naturales como en las aguas residuales. Es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas en los organismos, por este motivo se libera cuando existe degradación de las mismas, los sulfatos reducen biológicamente a sulfuros en condiciones anaerobias y forman sulfuro de hidrógeno (H₂S) al combinarse con el hidrógeno”. (Morán, 2014, p.7)

- Grasas y aceites

El contenido de estas en aguas residuales se determina por una extracción de muestra de residuo con triclorotrifluoroetano, químicamente tanto las grasas y aceites de origen vegetal o animal son similares, básicamente son ésteres compuestos de ácidos grasos, alcohol y glicerina. “Aquellos que se encuentran en estado líquido a temperatura ambiente denominados aceites y los que se han convertido en sólido llamados grasas. La presencia de estos causan muchos problemas en tanque sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales”. (Morán, 2014, p.7)

7.4.2.3. Biológicas

- Bacterias

“Muchas bacterias son inofensivas en el tracto intestinal pero al estar un individuo infectado al momento de excretar en las heces se encuentran una gran cantidad de bacterias patógenas, contaminando de esta manera las aguas residuales domésticas. Los grupos de bacterias más comunes que se pueden encontrar en las aguas residuales domésticas son del género Salmonella, del género Shigella y Escherichia coli”. (Morán, 2014, p.8)

- Protozoos

Entre los organismos causantes de enfermedades los protozoarios Giardia lamblia, Cyclospora y Cryptosporidium parvum. “Son de gran interés ya que tienen un alto impacto sobre la población, especialmente las personas con deficiencias en el sistema inmunológico. Este tipo de microorganismos son los más comunes encontrarlos en las aguas residuales”. (Morán, 2014, p.8)

- Helmitos

Los parásitos de esta categoría son las lombrices intestinales que pueden encontrarse en estas aguas: Ascaris lumbricoides, Tenia saginata y Taenia solium. “La etapa infecciosa de estos varía, en algunos se presentan en el estado mayor adulto o de larva y en otros su etapa infecciosa se presenta en el estado de huevo, muchas especies resisten condiciones ambientales adversas y llegan a sobrevivir a distintos tipos de tratamientos convencionales”. (Morán, 2014, p.8)

- **Virus**

Estas aguas residuales pueden presentar las condiciones adecuadas para que estos proliferen. “Se han detectado más de 100 clases diferentes de virus entéricos que pueden ser capaces de transmitir algún tipo de infección o enfermedad que provienen de las excretas. La mayoría de estos se reproducen en el tracto intestinal de individuos infectados y luego de ser expulsado en las heces se produce su desarrollo masivo”. (Morán, 2014, p.9)

7.5. Normativos y reglamentos

En Guatemala solamente se cuenta con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 y consta de 12 capítulos y 75 artículos, sustituye al Acuerdo Gubernativo No. 66-2005. Este reglamento fue publicado oficialmente en el Diario de Centro América el 5 de mayo de 2006 y está actualmente vigente. Se puede tomar como referencia los normativos de países en América como México, Costa Rica, Colombia y Perú.

7.5.1. Normativos vigentes

El normativo vigente en Guatemala es el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Este Reglamento establece los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos.

Norma Oficial Mexicana NOM-001SEMARNAT-1996 y PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, donde establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.

En Costa Rica El Decreto Ejecutivo No. 33601S-MINAE establece el *Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales* aplicado en todo el territorio Costarricense y tiene por objetivo la protección de la salud pública y del ambiente.

En Colombia Se encuentra el *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000*.

En Perú se aprueba los límites permisibles para los afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales a través del Decreto Supremo No. 003-2010-MINAM.

7.6. Análisis y diseño de la planta de tratamiento

En el diseño de la planta de tratamiento se llevaran a cabo diferentes análisis entre los que podemos mencionar físicos, químicos y bacteriológicos, los cuales se detallan a continuación.

7.6.1. Tipos de análisis

Se deberán tener claro los parámetros y las condiciones específicas necesarias para el diseño de una planta de tratamiento de aguas, la solución óptima e idónea, tamaño de la planta con respecto a directrices importantes como la fuente y calidad del agua que se tratará, composición y origen de las aguas residuales que se producen, el orden y topografía del lugar de influencia y sus sectores aledaños, el número de población y el crecimiento estimado.

7.6.1.1. Análisis físico

- Sólidos totales

Los sólidos totales pueden ser orgánicos e inorgánicos en las aguas residuales; por definición, son aquellos residuos que permanecen una vez que la parte líquida se ha evaporado y el resto se ha secado a peso constante aproximado a 103 °C. “Se distinguen entre sólidos disueltos y no disueltos al evaporar muestras de aguas residuales filtradas y sin filtrar, con la finalidad de clasificar mejor los residuos se puede mantener a 550 °C durante 15 minutos. Donde se puede considerar que las cenizas obtenidas representan los sólidos inorgánicos y que el material volátil es una medida del contenido orgánico”. (Morán, 2014, p.9)

- Sólidos fijos y volátiles

Siempre existirá una cantidad mayor entre uno y otro, “en la mayoría de casos se tendrá mayor presencia de sólidos volátiles que de sólidos fijos, y esto sucede debido a la materia orgánica presente que a las sustancias inorgánicas (minerales), por lo que delimita la presencia de contaminación orgánica derivada de animales, humanos y vegetales. Este parámetro muestra una alta sensibilidad a los efectos estacionales”. (Morán, 2014, p.9)

- Sólidos suspendidos

Es una medida de los sólidos sedimentables que “no se disuelven y que pueden ser retenidos en un filtro. La determinación de estos se puede realizar pesando el residuo que quede en el filtro después de secarlo, pueden tener un gran impacto donde las aguas sean utilizadas para un proceso con conducción, calderas, equipo”. (Morán, 2014, p.10)

- **Sólidos disueltos**

Se le llama también salinidad total, “es la cantidad de materia disuelta en el agua, que se determina por la evaporación de un volumen de agua que previamente fue filtrada. Este tipo de material puede tener un origen múltiple, tanto de material orgánico como de inorgánico; se pueden encontrar en aguas subterráneas como superficiales. Los procesos de tratamiento son múltiples en función de la composición del material, donde se incluye la precipitación, intercambio iónico, destilación, por mencionar algunos”. (Morán, 2014, p.10)

7.6.1.2. Análisis químico

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. “La DQO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/lt) o simplemente mg/lt. Cuanto mayor es la DQO más contaminante es la muestra. Las concentraciones de DQO en las aguas residuales industriales pueden tener unos valores entre 50 y 2 000 mg/lt, aunque es frecuente encontrar, según el tipo de industria, valores de 5 000, 10 000 e incluso más altos”. (Ergueta, 2016, p.95)

- **Demanda biológica de oxígeno (DBO)**

La DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra.

La DBO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/lt) o simplemente mg/lt. Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como DBO₅. Cuanto mayor sea la contaminación, mayor será la DBO. La DBO proporciona una medida sólo aproximada de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales”. (Ergueta, 2016, p.95)

Agua Pura.....	0 - 20 mg/lt
Agua Levemente Contaminada.....	20 - 100 mg/lt
Agua Medianamente Contaminada.....	100 - 500 mg/lt
Agua Muy Contaminada.....	500 – 3 000 mg/lt
Agua Extremadamente Contaminada.....	3 000 – 15 000 mg/lt

- Relación entre la DBO y la DQO

“El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO, debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. La diferencia es que los gramos o miligramos de oxígeno se refieren, en el caso de la DBO, a los requeridos por la degradación biológica de la materia orgánica; mientras que en el caso de la DQO, representan los necesarios para la degradación química de la materia orgánica”. (Ergueta, 2016, p.95)

La relación entre la DBO₅ y la DQO nos da una idea del nivel de contaminación de las aguas (DBO₅/DQO). Si la relación (DBO₅/DQO) <0,2 entonces hablamos de unos vertidos de naturaleza industrial, poco biodegradables y son convenientes los tratamientos físico-químicos. Si la relación (DBO₅/DQO) >0,5 entonces hablamos de unos vertidos de

naturaleza urbana, o clasificables como urbanos y tanto más biodegradables, conforme esa relación sea mayor; estas aguas residuales, pueden ser tratadas mediante procesos biológicos”. (Ergueta, 2016, p.95)

7.6.2. Diseño de la PTAR

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), se debe de definir los niveles de tratamiento con el objetivo que cada nivel disminuya la carga contaminante del agua hasta llegar a los límites permisibles.

7.6.2.1. Pretratamiento

Se define como preliminar porque, “es la antesala del tratamiento de depuración que recibirán las aguas residuales debido a que cumple con las funciones de medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta como también de extraer los sólidos flotantes grandes, la arena y la grasa, destacando que la eliminación de estos agentes indeseables se suscita mediante un proceso de filtración, el cual es necesario para el normal desarrollo de esta fase. Durante esta etapa, el agua residual es acondicionada para facilitar la depuración, con la finalidad de preservar la instalación de erosiones y taponamientos”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- **Remoción de sólidos**

Esta remoción de sólidos se realiza mediante el cribado, “donde los sólidos de gran tamaño tales como botellas, palos, bolsas, balones, llantas y demás elementos desechados en el accionar humano, son removidos, evitando problemas de averías en las plantas de tratamiento debido a que si no son removidos, pueden ocasionar el tapamiento de tuberías y

severos daños a los equipos”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Remoción de arena

Es también conocida como maceración o escaneo, “incluye un canal de arena donde es controlada cuidadosamente la velocidad de las aguas residuales, permitiendo que las arenas y piedras de estas tomen partículas, aun cuando la mayoría del material orgánico se mantiene con el flujo, siendo utilizado un colector de arena para tal fin”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Desbaste

Este procedimiento “consiste en la retención de los sólidos gruesos del agua residual a través de una reja, manual o autolimpiable, o un tamiz, habitualmente de menor paso o luz de malla. Esta operación produce una reducción de la carga contaminante a la entrada, lo cual permite la preservación de equipos tales como conducciones, bombas y válvulas, en contraparte de los depósitos y obstrucciones provocadas, por los sólidos que por lo general pueden ser muy fibrosos”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

7.6.2.2. Tratamiento primario

Esta etapa tiene como propósito, “eliminar los sólidos en suspensión a través de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por sustancias químicas tales como coagulantes y floculantes. El agua residual se deja depositada en grande estanques decantadores y permanece retenida de 1 a 2 horas en algunos casos y hasta 24 horas en otros, en algunos casos pero en raras ocasiones se agregan compuestos químicos tales como sales de

hierro, aluminio y polielectrolitos floculantes para completar el proceso, así como producir precipitación del fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloides hasta en un 70 %. Este proceso se desarrolla mediante el uso de máquinas hidráulicas, basándose allí el reconocimiento como tratamiento mecánico”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- **Sedimentación**

Los tanques donde se realizan tienen forma cilíndrica o rectangular, “donde son removidas entre un 60 % y 65 % de los sólidos sedimentables y de un 30 % a un 35 % de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, siendo un proceso de tipo floculento, en el cual los lodos están conformados por partículas orgánicas. Tales tanques son llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios, siendo lo suficientemente grandes para que los sólidos fecales puedan depositarse y el material flotante como la grasa y los plásticos puedan elevarse hacia la superficie, desnatándose allí”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

7.6.2.3. Tratamiento secundario

Este tratamiento incluye “la eliminación de la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica como también la degradación sustancias del contenido biológico del agua residual originado por los desechos humanos, son los objetivos primordiales que se plantean durante la realización de esta etapa del proceso de tratamiento de agua residual”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

La etapa secundaria se define como “un proceso biológico natural, donde participan los microorganismos presentes en el agua residual y que se

desarrollan en un reactor o cuba de aireación, sin contar los que también se desarrollan en menor medida en el decantador secundario. Los procesos biológicos aerobios y anaerobios y físicos químicos, tales como la floculación son parte de esta etapa del proceso de depuración de agua residual, los cuales reducen la mayor parte de la demanda biológica de oxígeno como también remueven cantidades adicionales de sólidos sedimentables”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Fangos activados

Las plantas de fangos o lodos activos como regularmente se les denomina a este proceso aerobio de biomasa suspendida, “utilizan diversos mecanismos para hacer uso de oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que remueven substancialmente materia orgánica como también pueden atrapar partículas de material”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Camas filtrantes

Las camas filtrantes de goteo “son aquellas en las que las aguas residuales son rociadas en la superficie de una profunda cama compuesta de carbón, piedra caliza o fabricada especialmente de medios plásticos, los cuales deben contener altas superficies para soportar las biopelículas que se forman”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Placas rotativas y espirales

Son usadas las placas o espirales de revolución lenta para “el sumergimiento parcial en las aguas, creando un floculo biótico que proporciona el substrato requerido”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Reactor biológico de cama móvil

El MBBR según sus siglas en Inglés, “asume la adición de medios inertes en vasijas de fangos activos existentes para proveer sitios activos, con la intención de reunir la biomasa, manteniendo una alta densidad de la población de biomasa e incrementando la eficiencia del sistema sin la necesidad de incrementar la concentración de licor mezclado de sólidos”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Filtros aireados biológicos

Los filtros anóxicos biológicos “combinan la filtración con una reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación, incluyendo usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. La finalidad de este medio es el alto soporte de la biomasa activa que se une a el y a los sólidos suspendidos en el filtro. La reducción del carbón como la conversión de amoniaco ocurre en medio aerobio y alguna vez alcanzado en un solo reactor, mientras la conversión del nitrato ocurre en una manera anóxica”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Reactores biológicos de membranas

Este sistema es aquel que con una barrera de membrana semipermeable o en conjunto con un proceso de fangos; “este se compone en 2 partes integradas unilateralmente siendo por un lado, el reactor biológico responsable de la depuración biológica y por el otro lado, la separación física de la biomasa y el agua a través de un sistema de filtración por membrana. Su aplicación en el proceso de tratamiento de aguas residuales es diversa, destacando que esta tecnología garantiza la remoción de todos los contaminantes suspendidos y sólidos disueltos”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Sedimentación secundaria

Se constituye como el paso final de “la etapa secundaria del proceso de tratamiento de aguas residuales, donde son retirados los floculos biológicos del material de filtro, produciendo agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

7.6.2.4. Tratamiento terciario o tratamiento físico-químico-biológico

Dentro de todo el proceso del tratamiento de las aguas residuales esta es la fase final, “en la cual se practican una serie de procesos para aumentar la calidad del agua a estándares requeridos para su descarga en ríos, mares, lagos, campos y demás cuencas hidrográficas”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Filtración

La filtración de arena “retiene gran parte de los residuos de materia suspendida y las toxinas residuales, son retenidas por el carbón sobrante de la filtración”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Lagunaje

Este método de lagunas proporciona “sedimentación y mejora biológica adicional por almacenaje en charcos y lagunas artificiales, tratándose de una imitación de los procesos de autodepuración que un río o un lago, somete a las aguas residuales de forma natural”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Humedales artificiales

Incluyen camas de cañas o una serie de “métodos similares que proporcionan un alto grado de materia biológica aerobia y pueden utilizarse a menudo en lugar del tratamiento secundario para las poblaciones pequeñas, también para la fitorremediación”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Remoción de nutrientes

Las aguas residuales pueden contener altos índices de presencia de los nutrientes nitrógenos y fósforo, “lo cual puede ser tóxico para las especies de fauna marina, tales como peces e invertebrados en concentraciones bajas como también puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción. Las algas pueden producir toxinas, su muerte y por consumo de bacterias, pudiendo agotar el oxígeno en el agua, asfixiando peces y otras especies de la vida acuática”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

- Desinfección

El propósito de esta última fase del tratamiento terciario es “reducir substancialmente el número de organismos vivos, que será descargada nuevamente en su cauce natural. La efectividad de este proceso dependerá de la calidad del agua tratada, del tipo de desinfección que se aplique, de la dosis de desinfectante como de otras variables ambientales, constatándose en el caso del agua turbia, la cual es tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos”. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018)

7.7. Manejo adecuado de residuos sólidos hospitalarios

Los desechos sólidos hospitalarios (DSH), “son los desechos producidos durante el desarrollo de sus actividades por los entes generadores, tales como hospitales públicos o privados, sanatorios, clínicas, laboratorios, bancos de sangre, centros clínicos, casas de salud, clínicas odontológicas, control de maternidad y en general cualquier establecimiento donde se practiquen los niveles de atención humana o veterinaria, con fines de prevención, diagnóstico, tratamiento, recuperación y rehabilitación de la salud”. (Díaz, 2011, p.39)

Los residuos sólidos que se generan en los establecimientos de salud, producto de las actividades asistenciales constituyen un peligro de daño para la salud de las personas si en circunstancias no deseadas, “la carga microbiana que contienen los residuos biocontaminados ingresa al organismo humano o en el caso de los residuos especiales cuando ingresan mediante vía respiratoria, digestiva o dérmica”. (MINSA, 2004, p.12)

7.7.1. Tipos de desechos

A continuación se describen los tipos de desechos que se producen en los establecimientos destinados a la salud de las personas, el orden está de acuerdo al riesgo.

7.7.1.1. Desechos generales o comunes

“Son aquellos que no representan un riesgo adicional para la salud humana y el ambiente, y que no requieren de un manejo especial. Tiene el mismo grado de contaminación que los desechos domiciliarios. Ejemplo: papel, cartón, plástico, restos provenientes de la preparación de alimentos, etc.

Constituyen el 80 % de los desechos. En este grupo también se incluyen desechos de procedimientos médicos no contaminantes como yesos, vendas, etc. Los otros tipo de desechos tienen varias denominaciones: peligrosos, médicos, biomédicos o clínicos y abarcan los subtipos infecciosos y especiales que constan a continuación”. (Fundación Natura & Zabala, 1997, p.29)

7.7.1.2. Desechos infecciosos

Podemos definir que los desechos infecciosos son los que contienen gérmenes patógenos, por tal razón para la salud humana son determinados peligrosos, constituyen del 10 al 15 % de los desechos.

Los desechos infecciosos pueden tener diferentes fuentes de las cuales se describen algunas a continuación:

- a) Desechos de laboratorio
Cultivos de agentes infecciosos y desechos biológicos, vacunas vencidas o inutilizadas, cajas de Petri, placas de frotis y todos los instrumentos usados para manipular, mezclar o inocular microorganismos.
- b) Desechos anátomo-patológicos
Órganos, tejidos, partes corporales que han sido extraídas mediante cirugía, autopsia u otro procedimiento médico.
- c) Desechos de sangre
Sangre de pacientes, suero, plasma u otros componentes; insumos usados para administrar sangre, para tomar muestras de laboratorio y paquetes de sangre que no han sido utilizados.

- d) Desechos cortopunzantes
Agujas, hojas de bisturí, hojas de afeitar, puntas de equipos de venoclisis, catéteres con aguja de sutura, pipetas y otros objetos de vidrio y cortopunzantes desechados, que han estado en contacto con agentes infecciosos o que se han roto. Por seguridad, cualquier objeto cortopunzante debería ser calificado como infeccioso aunque no exista la certeza del contacto con componentes biológicos. Constituye el 1 % de todos los desechos.

- e) Desechos de áreas críticas (unidades de cuidado intensivo, salas de cirugía y aislamiento, etc.)
Desechos biológicos y materiales descartables, gasas, apósitos, tubos, catéteres, guantes, equipos de diálisis y todo objeto contaminado con sangre y secreciones, y residuos de alimentos provenientes de pacientes en aislamiento.

- f) Desechos de investigación
Cadáveres o partes contaminadas, o que han estado expuestos a agentes infecciosos en laboratorios de experimentación, industrias de productos biológicos y farmacéuticos, y en clínicas veterinarias. (Fundación Natura & Zabala, 1997, p.30)

7.7.1.3. Desechos especiales

Las características físico-químicas lo establecen como peligroso, son desechos producidos en los diferentes servicios de diagnóstico y tratamiento. De todos los desechos constituye el 4 %.

a) Desechos químicos

“Sustancias o productos químicos con las siguientes características: tóxicas para el ser humano y el ambiente; corrosivas, que pueden dañar tanto la piel y mucosas de las personas como el instrumental y los materiales de las instituciones de salud; inflamables y/o explosivos, que puedan ocasionar incendios en contacto con el aire o con otras sustancias. Las placas radiográficas y los productos utilizados en los procesos de revelado son también desechos químicos. Deben incluirse además las pilas, baterías y los termómetros rotos que contienen metales tóxicos y además las sustancias envasadas a presión en recipientes metálicos, que pueden explotar en contacto con el calor”. (Fundación Natura & Zabala, 1997, p.31)

b) Desechos radiactivos

“Aquellos que contienen uno o varios núclidos que emiten espontáneamente partículas o radiación electromagnética, o que se fusionan espontáneamente. Proviene de laboratorios de análisis químico y servicios de medicina nuclear y radiología. Comprende a los residuos, material contaminado y las secreciones de los pacientes en tratamiento”. (Fundación Natura & Zabala, 1997, p.31)

c) Desechos farmacéuticos

“Son los residuos de medicamentos y las medicinas con fecha vencida. Los más peligrosos son los antibióticos y las drogas citotóxicas usadas para el tratamiento del cáncer”. (Fundación Natura & Zabala, 1997, p.31)

7.7.2. Separación e Identificación

Para la separación e identificación de cada uno de los tipos de contenedores, bolsas y frascos que existen para el almacenaje y transporte de este tipo de desechos. Los mismos se describen a continuación:

7.7.2.1. Bolsas plásticas

Son los envases necesarios para el descarte de desechos sólidos sin líquidos libres. “Deben cumplir con ciertas características técnicas, tales como resistencia e impermeabilidad, de manera que los residuos sean contenidos sin pérdidas ni derrames. Son fabricadas con polietileno de baja densidad con agregado de resina AR tipo industrial con dimensiones variadas y color”. (Cabrera, 2016, p.24)

- a) Bolsas negras: desechos comunes.
- b) Bolsas rojas: desechos infecciosos.
- c) Bolsas blancas: desechos especiales

7.7.2.2. Envases rígidos

Este tipo de envases principalmente se divide por el uso al que van a ser destinados, los tres grupos se describen a continuación:

- a) Para punzocortantes

“Generalmente son de plástico ya que deben ser resistentes a golpes, perforaciones y caídas e impermeables. Preferiblemente son de color rojo y deben estar identificados con el símbolo universal de biopeligrosidad”. (Cabrera, 2016, p.25)

- b) Para sólidos que puedan drenar abundantes líquidos
“Son útiles los recipientes rígidos impermeables con cierres seguros y herméticos para evitar derrames de líquidos de drenaje”. (Cabrera, 2016, p.25)

- c) Para vidrio
“Son de materiales resistentes de plástico y deben estar debidamente identificados con la inscripción solamente desechos de vidrio”. (Cabrera, 2016, p.25)

7.7.3. Formas de disposición final

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social por medio del Acuerdo Gubernativo 509-2001 describe que la disposición final puede estar comprendida de 3 formas y se puede realizar así:

- a) “Para los desechos clasificados como comunes, la disposición será por medio del sistema de manejo de desechos municipales”. (MSPAS, 2001, p.9)

- b) “Para los desechos clasificados como infecciosos hospitalarios, debe realizarse su disposición por medio del sistema de incineración o cualquier otro sistema autorizado por el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social”. (MSPAS, 2001, p.9)

- c) “Para los desechos clasificados como especiales, deberá utilizarse el sistema de relleno sanitario de seguridad o cualquier otro sistema

autorizado por el Departamento de Salud y Ambiente”. (MSPAS, 2001, p.9)

El Reglamento para el Manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios fue creado por el gobierno a través del Acuerdo Gubernativo No. 509-2001. “Este reglamento tiene el objetivo de velar por el mantenimiento ecológico y la calidad de vida de los habitantes del país, estableciendo en él acciones de prevención, regulación y control de las actividades que causan deterioro y contaminación” (Rodríguez, 2006, p.6)

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO DEL INFORME

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Conceptos generales

1.1.1. Nivel hospitalario en Guatemala

1.1.2. Ordenamiento territorial

1.1.3. Categorización o niveles de atención del IGSS

1.2. Agua potable en hospitales

1.2.1. Agua potable

1.2.2. Áreas de consumo de agua potable

1.3. Tipos de aguas residuales

1.3.1. Aguas residuales domésticas

1.3.2. Aguas residuales industriales

1.3.3. Aguas residuales hospitalarias

- 1.4. Aguas residuales hospitalarias
 - 1.4.1. Fuentes de generación
 - 1.4.1.1. Químicos de limpieza
 - 1.4.1.2. Agentes de contraste
 - 1.4.1.3. Áreas de esterilización
 - 1.4.1.4. Lavandería
 - 1.4.1.5. Servicios sanitarios
 - 1.4.2. Características de las aguas residuales
 - 1.4.2.1. Características físicas
 - 1.4.2.2. Características químicas
 - 1.4.2.3. Características biológicas
- 1.5. Normativos y Reglamentos
 - 1.5.1. Normativos vigentes
- 1.6. Análisis y diseño de la planta de tratamiento
 - 1.6.1. Tipos de análisis
 - 1.6.1.1. Análisis físico
 - 1.6.1.2. Análisis químico
 - 1.6.2. Diseño de la planta de tratamiento
 - 1.6.2.1. Pretratamiento
 - 1.6.2.2. Tratamiento primario
 - 1.6.2.3. Tratamiento secundario
 - 1.6.2.4. Tratamiento terciario
- 1.7. Manejo adecuado de residuos sólidos hospitalarios
 - 1.7.1. Tipos de desechos
 - 1.7.1.1. Desechos generales o comunes
 - 1.7.1.2. Desechos infecciosos
 - 1.7.1.3. Desechos especiales

- 1.7.2. Separación e identificación
 - 1.7.2.1. Bolsas plásticas
 - 1.7.2.2. Envases rígidos
- 1.7.3. Formas de disposición final

2. GENERALIDADES DEL HOSPITAL

- 2.1. Ubicación y localización
- 2.2. Descripción del hospital
- 2.3. Consumo de agua potable
- 2.4. Sistema de evacuación de aguas residuales
- 2.5. Residuos sólidos

3. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

- 3.1. Determinación del caudal diseño
- 3.2. Toma de muestras y Análisis de laboratorio
- 3.3. Relación de DBO y DQO
- 3.4. Tratamiento
 - 3.4.1. Pretratamiento
 - 3.4.2. Tratamiento secundario
 - 3.4.3. Tratamiento químico

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

AGRADECIMIENTOS Y/O ACTO QUE DEDICO

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio se considera de tipo cuantitativo descriptivo, debido a que se enfocará en la descripción de las características de las aguas residuales. Su alcance no permitirá la comprobación de hipótesis. A través de este marco metodológico se realizará la descripción, registro, análisis e interpretación del problema ambiental originado por la descarga de aguas residuales del hospital de Patulul, Suchitepéquez.

9.2. Fases del estudio

El estudio se divide en cuatro fases, la fase uno se realizará una exploración bibliográfica. En la fase dos se desarrollará la estrategia de muestreo y la descripción de los elementos utilizados en campo. La fase tres se obtendrán los resultados obtenidos de la medición en campo y la determinación del tratamiento y la fase cuatro se determinaran los índices. A continuación se desarrollan cada uno de las fases.

9.2.1. Fase 1: exploración bibliográfica

En esta primera fase se revisará toda la bibliografía pertinente para la explicación del tema y todos sus componentes, para el esclarecimiento del tema objeto de estudio. Esta información establecerá parámetros para el diseño de la planta, sus características, variables y resultados para comparar los con los máximos establecidos en las normas vigentes en Guatemala.

9.2.2. Fase 2: estrategia de muestreo y descripción de los elementos utilizados en campo

La estrategia de muestreo se realizara por medio de elaboración de planos, una descripción de los instrumentos a utilizar en la toma de muestras y el proceso para la toma de muestras en cada uno de los puntos establecidos.

9.2.2.1. Elaboración de esquemas o planos

En esta sección se determinarán los puntos de muestreo. Por tal razón es necesario hacer la medición de todos los ambientes con que cuenta el hospital, para posteriormente realizar un plano de la situación actual del inmueble, en el cual se deben incluir todas las áreas en uso, desuso y las fuentes de emisiones de aguas residuales, como lo pueden ser:

- * Calderas y generados de vapor para la producción de vapor y agua caliente sanitaria para uso y calefacción.
- * Las áreas donde se encuentra ubicada la Central de Equipos y Esterilización (CEYE).
- * Residuos sanitarios peligrosos.
- * Excreciones y secreciones de personas tratadas en general y/o con radioisótopos.
- * Residuos líquidos de diálisis, entre otros.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de los ambientes de un hospital. Posterior al levantamiento se colocarán las medidas y ambientes reales.

Figura 4. **Potenciómetro portátil**

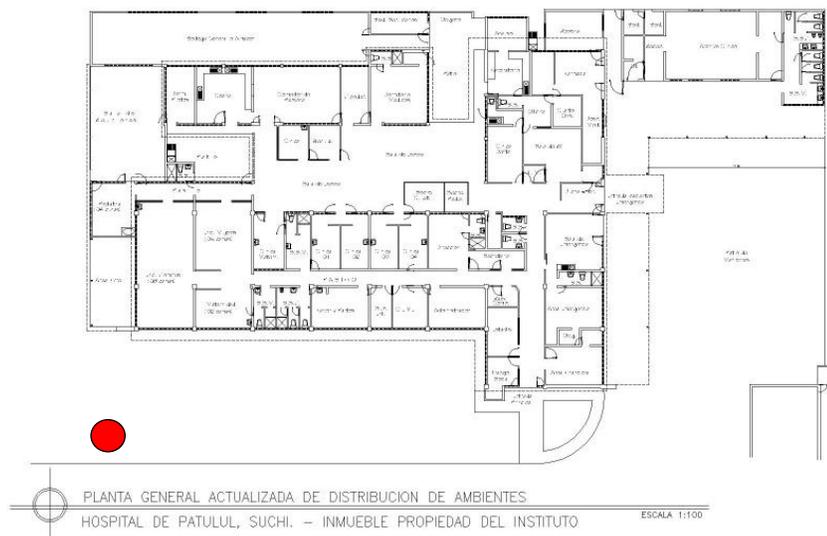


Fuente: PROLAB (2019). Recuperado de <http://www.pro-lab.com.mx/images/340X350/productos/622.jpg>

9.2.2.3. **Proceso de toma de muestras**

Se realizará la toma de muestras de las aguas residuales, en el punto estratégico según el plano de situación actual del hospital. Se detallará cada uno de los muestreos. Se realizará una muestra compuesta por 24 horas por método automático a cada 30 minutos y se extraerá una muestra para el análisis de laboratorio.

Figura 5. **Ubicación del punto de muestreo dentro del hospital**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Posterior a la toma de muestras en los puntos establecidos, se preservarán y trasladarán al laboratorio donde se realizarán los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos. Se tomarán todas las recomendaciones en cuanto al traslado y preservación de las muestras a analizar que proporcione el laboratorio donde se analizarán las muestras.

Para la medición del caudal se utilizará un vertedero triangular u otro método en los puntos establecidos anteriormente. La fórmula para determinar el caudal será:

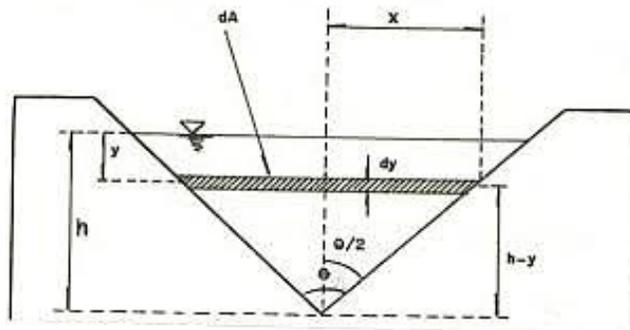
$$Q = (1,427*(H/100)^{5/2})*(1\ 000)$$

Donde:

Q = caudal de agua residual pasando por el vertedero (l/s)

H = altura del agua sobre el vertedero (cms)

Figura 6. **Ejemplo del instrumento para medición de caudal método vertedero triangular**



Fuente: PÉREZ R. (2006). Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Universidad Nacional de Colombia.

Se utilizará también para la medición de caudal el método volumétrico, empleado en caudales pequeños, para lo cual solamente se necesita de un recipiente con volumen establecido para recolectar el agua y un instrumento para medir el tiempo de llenado del recipiente.

$$Q = V/T$$

Donde:

Q = Caudal en litros/segundos (l/s)

V = Volumen del recipiente en litros

T = Tiempo en que se llena el recipiente utilizado en segundos

Figura 7. **Ejemplo del instrumento para medición de caudal método volumétrico**



Fuente: CARANTIOQUIA. (2014). Manual piragüero 3 - medición de caudal.

La utilización de los métodos para la medición del caudal puede variar dependiendo del espacio que se tenga para la medición del mismo. Se debe de tomar en cuenta el lugar y el tiempo ya que las condiciones climáticas son importantes para el mismo; la frecuencia con que se realizarán las mediciones y la técnica.

9.2.3. Fase 3: resultados y determinación del tratamiento

En esta fase número tres se obtendrán los resultados de las mediciones en campo tanto de caudales como análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, se tabularan y se obtendrán gráficos para la interpretación de resultados con el objeto de definir el tratamiento.

9.2.3.1. Resultados de medición de caudal

Se realizará la toma de muestras en los puntos establecidos y la cantidad de veces que se ejecutará el muestreo según el tiempo estipulado. Con la finalidad de establecer un caudal promedio en cada uno de los puntos.

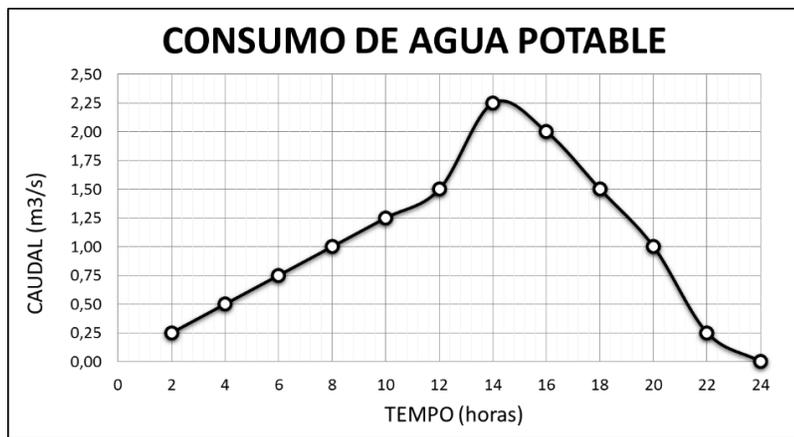
Tabla III. Registro de caudales en los puntos de muestreo

CAUDAL (l/s)				
Muestra	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
PROMEDIO				

Fuente: elaboración propia.

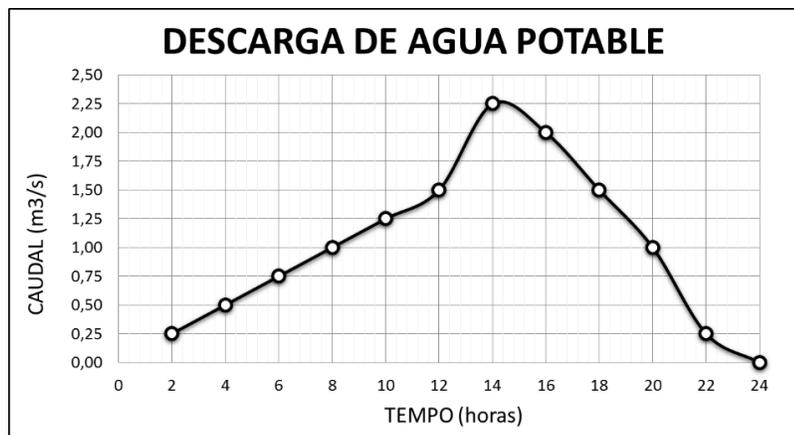
Se establecerá el comportamiento del caudal de agua potable consumido diariamente por el hospital en función de tiempo (horas), con el fin de saber el consumo de agua potable, las horas donde el consumo es máximo, las horas donde el consumo es mínimo y un gráfico del comportamiento del caudal de aguas residuales durante el periodo establecido y los días programados.

Figura 8. **Ejemplo del gráfico consumo agua potable durante el tiempo estipulado**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Ejemplo del gráfico descarga de agua residual durante 24 horas establecidas**



Fuente: elaboración propia.

9.2.3.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos

Se presentarán los resultados promedio, valores mínimos y máximos de las muestras en cada una de los puntos establecidos.

Tabla IV. Resultados de análisis fisicoquímicos

Parámetro	U	Promedio	Máximo	Mínimo
Potencial de hidrógeno (pH)				
Temperatura	°C			
Color	U			
Sólidos suspendidos totales	mg/l			
Sólidos sedimentables	ml/l			
DQO	ml/l			
DBO5	ml/l			
Nitrógeno total	ml/l			
Fósforo total	ml/l			
Cianuros	ml/l			
Metales pesados				
Cobre	ml/l			
Zinc	ml/l			
Plomo	ml/l			

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resultados de análisis bacteriológicos**

Parámetro	U	Valor Coliformes	pH	Temp. °C
Coliformes totales (B-1)	NMP/100cm ³			
Coliformes totales (B-2)	NMP/100cm ³			
Coliformes totales (B-3)	NMP/100cm ³			
Coliformes fecales (B-1)	NMP/100cm ³			
Coliformes fecales (B-2)	NMP/100cm ³			
Coliformes fecales (B-3)	NMP/100cm ³			

Fuente: elaboración propia.

9.2.3.3. Determinación del tratamiento

El tratamiento se determinará a través de los siguientes datos:

- La comparación de los resultados del análisis de laboratorio de la caracterización de las aguas residuales realizando una comparativa con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
- La población proyectada a un periodo de vida útil de 25 años, y de igual forma las mediciones del caudal en el punto de desfogue; se tomarán en cuenta los tratamientos necesarios antes mencionados.
- Las etapas de la planta de tratamiento se seleccionarán desde el punto de vista operativo, ya que tiene mayor complejidad en cada una de sus unidades, lo que facilita la integración del personal operativo a la planta, cumpliendo el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y mitigar la problemática.

9.2.4. Fase 4: cálculo para los índices

En esta fase se contempla el cálculo matemático para establecer la relación entre la cantidad de agua residual y el número de pacientes atendidos o el número de encamamientos, como índice para futuros análisis y proporcionar bases para una evaluación de la situación sanitaria del hospital. Para el cálculo debe determinarse:

- Cantidad de agua potable consumida
- Cantidad de agua residual descargada
- Número de pacientes atendidos diariamente
- Cantidad de encamamientos

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para la determinación del número de muestras por tomar en el hospital se utilizarán las curvas de niveles de confianza y se utilizarán las siguientes herramientas estadísticas:

- Desviación estándar para la determinación de número de muestras.
- Promedio para la determinación del caudal en el punto de muestreo.
- Mínimo y máximos de los caudales de los puntos de muestreo.
- La Mediana y los Rangos los marcarán las normas establecidas dentro de las cuales tienen que estar nuestros valores.
- Tasas de crecimiento para la población de diseño.

Para la interpretación de los resultados de laboratorio de las muestras de los puntos de muestreo y comparación con máximos establecidos se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tablas de datos para realizar los apuntes de los aforos del caudal en estudio.
- Gráficos de dispersión para mostrar los valores de caudal vs. tiempo.
- Graficas lineales para ver los cambios de tendencia de los datos muestreados.
- Gráficos de circular para ver los porcentajes de los componentes del agua residual.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría y dado que la investigación es descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos.

Tabla VII. Recursos necesarios para la investigación

RECURSO	COSTO
Materiales consumibles	Q 500,00
Transporte o Movilización	Q 1 000,00
Alquiler de Instrumentos	Q 800,00
Análisis de Muestras	Q 1 200,00
Asesor	Q 2 500,00
TOTAL	Q 6 000,00

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. Ambulsdegui, E. (2014). *Medios de contraste, Tecnicas y aplicaciones*. Recuperado de: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f2/Manual_de_medios_de_contraste.pdf.
2. Cabrera, L. (2016). *Diseño de una guía para un manejo integral de desechos hospitalarios en laboratorios Clínicos en Guatemala, Según Acuerdo Gubernativo No. 509-2001 y su regulación*. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Carbotecnia (2014). *pH del Agua*: Carbotecnia. Jalisco, México. Recuperado de: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/>.
4. Castro, M. (2014). *Tratamiento de Aguas Residuales domésticas*. Recuperado de: <https://tratamientodeaguasresiduales.net/tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas/>.
5. CLIM PROFESIONAL. (2015). *Material de limpieza para una clínica*. Recuperado de: <https://www.climprofesional.com/blog/material-limpieza-clinica/>.
6. Darner, M. (2016). *Calidad del Agua en los Hospitales*. La Nación. Recuperado de: <https://www.nacion.com>.

7. Díaz, L. (2011). *Diseño del manual de procedimientos y permanencia en el área de la planta de tratamiento de desechos sólidos hospitalarios, la Verbena*. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala.
8. Duarte, C., & Gutiérrez, F. (2013). *Tratamiento de agua residual hospitalaria previamente ozonizada utilizando un reactor anaerobio de lecho fijo*. Tesis de pregrado. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
9. Elías, J. (2015). *Las Aguas sucias de Guatemala*. El País. Recuperado de: https://elpais.com/internacional/2015/06/24/actualidad/1435177135_432060.html#comentarios.
10. Ergueta, F. (2016) *El Agua Tratamiento de Aguas Residuales Hospitalarias (Parte I)*. Revista P&C. Año 27 N°. 62. Recuperado de: <http://revistapyc.com/>.
11. Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2018). *Estas son las etapas del tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de: <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/etapas-del-proceso-tratamiento-aguas-residuales/>.
12. Fundación Natura & Zabala, M. (1997). *Manual para el Manejo de Desechos en Establecimientos de Salud*. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/Eswww/Fulltext/Repind62/Guiamane/Manuma.Html>.

13. García, R., Ocantos, J., Paganini, L. (2010). *Guía de recomendaciones para la utilización de Medios de Contraste*. Hospital italiano de Buenos Aires. Recuperado de: https://www.hospitalitaliano.org.ar/multimedia/archivos/noticias_attachs/1/documentos/8373_Guia%20de%20contastes.pdf.
14. Gestión y Asesoría Jurídico Ambiental S.C. (2000). *Estudio de Impacto ambiental de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital Ángeles Villahermosa*. Tabasco, México. Recuperado de: https://kipdf.com/nombre-del-proyecto-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-del-hospital-angel_5aeb249a7f8b9a64998b462d.html.
15. Gestión y Servicios Ambientales S.A.S. (2014). *Estudio de las aguas residuales industriales del Hospital General de Medellín, Luz Castro de Gutiérrez E.S.E.* Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://www.hgm.gov.co/images/PDF/gestion-conocimiento/2014-investigaciones/produccion-mas-limpia-en-el-sector-salud-resultados-estudio-aguas-residuales.pdf>.
16. Gil, C. & Tarache, J. (2010). *Evaluación del funcionamiento en la planta de tratamiento de las aguas residuales con lagunas de oxidación Aricagua, Municipio Antolín del Campo, Estado Nueva Esparta*. Tesis de pregrado. Universidad de Oriente, Venezuela.
17. Hernández, M. (2016). *Poblacion supera los 17.1 millones*. Prensa Libre. Recuperado de: <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/poblacion-supera-los-171-millones/>.

18. Hospital de León Becerra. (2017). *Estudio de caso “utilización de indicadores para controlar el consumo de agua e implementar acciones que promuevan su ahorro.* Recuperado de: <https://www.greenhospitals.net/>.
19. Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS). (2010). *Servicios Médicos.* Recuperado de: <https://docplayer.es/8643064-El-instituto-guatemalteco-de-seguridad-social-en-general-brinda-dos-tipos-de-prestaciones-a-saber.html>.
20. Limpiezas SIL. (2017). *Guía de uso para antisépticos y desinfectantes hospitalarios de uso común. Todo lo que debes saber.* [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://limpiezasil.com/desinfectantes-hospitalarios/>.
21. Ministerio de Salud del Perú (MINSA). (2004). *Norma Técnica para el manejo de Residuos Sólidos Hospitalarios NT-MINSA/DGSP V.0.1.* Recuperado de: https://www.saludarequipa.gob.pe/de-sa/archivos/Normas_Legales/NT-MINSA-DGSP%20V.01%20NORMA%20T%C3%8CNICA%20PARA%20EL%20MANEJO%20DE%20RESIDUOS%20S%C3%92LIDOS%20HOSPITALARIOS%202004.pdf.
22. Ministerio de Salud Pública de Uruguay. (2006). *Procesamiento de ropa para usos en Hospitales.* Recuperado de: www.msp.gub.uy.

23. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2001). *Reglamento para el manejo de desechos sólidos hospitalarios. Acuerdo Gubernativo 509-2001*. Guatemala. Recuperado de: <http://www.mspas.gob.gt>.
24. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). (2010). *Modelo de Atención Integral en Salud (MAIS)*. Recuperado de: <http://www.mspas.gob.gt/>.
25. Monge, D. & Del Cid, E. (2006). *Análisis de la calidad del agua residual del Hospital General de Accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social*. Tesis de maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
26. Mongue, V. (2014). *Propuesta de implementación de la unidad de fisioterapia en el centro de salud con sede en Quetzaltenango*. Tesis de pregrado. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
27. Monitha. (2010). *Reglamento de la ley de aguas nacionales*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://fashion-girl-bys.blogspot.com/2010/06/>.
28. Montalvo, M. (2012). *Estandarización de los procesos de lavado de prendas de uso hospitalario, a fin de evitar la propagación de enfermedades infecto contagiosas*. Tesis de pregrado. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

29. Morán, D. (2014). *Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz*. Tesis de pregrado. Universidad Rafael Landívar. Guatemala, Guatemala.
30. Paz, M., Muzio, H., Gemini, V., Magdaleno, A., Rossi, S., Korol, S., & Moretton, J. (2004). *Aguas residuales de un Centro Hospitalario de Buenos Aires, Argentina: Características químicas, biológicas y toxicológicas*. Hig. Sanid. Ambient, 4, 83-88.
31. Red Global de Hospitales Verdes y Saludables. (2015). *Reducir el consumo de agua de los hospitales y suministrar agua potable*. Recuperado de: <https://www.hospitalesporlasaludambiental.net/agua/>.
32. Rodríguez, M. (2006). *El Manejo de los desechos hospitalarios en Guatemala*. Tesis de Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
33. SPENA GROUP. (2015). *Tratamientos de Aguas Residuales para Hospitales*. Recuperado de: <http://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-hospitales/>.
34. Velásquez, D. (2013). *Desinfección de agua residual hospitalaria aplicando Ozono, Ozono/UV Y UV*. Artículo de Investigación. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia.