



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos  
Hidráulicos (ERIS)

**FACTORES DE RIESGO BACTERIOLÓGICO EN EL AIRE PARA OPERADORES DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GUATEMALA**

**Ing. Junior Rodolfo Paredes Donis**

Asesorado por el M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis

Guatemala, julio de 2025



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTORES DE RIESGO BACTERIOLÓGICO EN EL AIRE PARA OPERADORES DE  
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

**ING. JUNIOR RODOLFO PAREDES DONIS**

ASESORADO POR EL M.SC. ING. PEDRO SARAVIA CELIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS  
DE INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, JULIO DE 2025



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO (a. i.)	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Dr. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Pedro Saravia Celis
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Julián Duarte Jiménez
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre



## **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:

### **FACTORES DE RIESGO BACTERIOLÓGICO EN EL AIRE PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 10 de septiembre del año 2019.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop at the top and several horizontal strokes below it, ending in a sharp point.

**Ing. Junior Rodolfo Paredes Donis**



Guatemala, 27 de marzo 2025

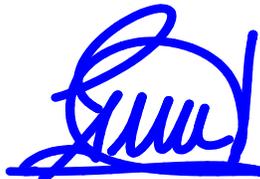
M.Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos  
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)  
Facultad de ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado: **FACTORES DE RIESGO BACTERIOLÓGICO EN EL AIRE PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GUATEMALA**; elaborado por el ingeniero Junior Rodolfo Paredes Donis, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y revisión de lingüística, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente me suscribo de usted.

Atentamente.

*ID Y ENSEÑAD A TODOS*



MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis  
Asesor del estudio



Guatemala, 5 de agosto 2025

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

**FACTORES DE RIESGO BACTERIOLÓGICO EN EL AIRE PARA  
OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES EN GUATEMALA**

Presentado por el estudiante:

**Ing. Junior Rodolfo Paredes Donis**

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos - ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,  
*ID Y ENSEÑAD A TODOS*



MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria



El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Julian Duarte Jimenez, MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y MSc. Ing. Pedro Saravia Celis (asesor), así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, se aprueba el trabajo del Ing. Junior Rodolfo Paredes Donis, titulado: FACTORES DE RIESGO BACTERIOLÓGICO EN EL AIRE PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN GUATEMALA.

En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los siete días del mes de agosto de 2025.

**IMPRIMASE**

*ID Y ENSEÑAD A TODOS*



MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis  
DIRECTOR



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Gracias por darme la oportunidad de culminar mi carrera y llenar de bendiciones mi vida.
<b>Mi mamá</b>	Alma Estela Donis Palma, por ese amor incondicional de madre y enseñarme a luchar por mis sueños.
<b>Mi papá</b>	Edgar Rodolfo Paredes Rivera, con mucho cariño. Este triunfo es de ustedes.
<b>Mi hermano</b>	Christian René Paredes Donis, por ser mi hermano y amigo. Te deseo lo mejor en tu vida.
<b>Profesor</b>	Mario René Segura Pastrana, por ser como un padre para mí y contar con su apoyo siempre.
<b>Mis abuelos</b>	Santos de Donis y Juan Veda Donis Castillo, por ser madre y padre siempre. Este triunfo es de ustedes.
<b>Mi familia</b>	Con mucho cariño para mis tíos, tías, primos y prima.

**Mis amigos**

Por ser como hermanos y hermanas siempre.  
Gracias por su apoyo.

**Ingeniera**

María Alejandra Martínez López, con mucho  
cariño por todo el apoyo y motivación durante este  
proceso.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de formar parte de tan prestigiosa casa de estudios.

**Escuela Regional de  
Ingeniería Sanitaria,  
ERIS**

Por darme la oportunidad de recibir una formación académica profesional, y a mis amigos, compañeros, por todos los momentos vividos durante nuestra formación.

**M.Sc. Ing. Pedro Saravia**

Por el apoyo brindado durante este tiempo en la realización de este trabajo de investigación. Dios lo bendiga a usted y su familia.

**Empresa Municipal de  
Agua de Guatemala  
(Empagua)**

Por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría durante toda la carrera.



## ÍNDICE GENERAL

LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXIII
ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO .....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO .....	1
1.1. Evaluación de riesgos en sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	1
1.2. Principales vías de contaminación.....	1
1.3. Sobrevivencia de agentes patógenos .....	3
1.4. Peligros biológicos .....	4
1.5. Riesgos biológicos.....	4
1.6. Vías de entrada agentes biológicos .....	5
1.7. Dosis infectiva mínima .....	6
1.8. Identificación de riesgos biológicos por medio de un muestreo biológico pasivo .....	6
1.9. Metodología de muestreo .....	7
1.10. Contaminantes biológicos en el aire .....	8
1.10.1. Bioaerosoles totales cultivables o contables.....	9

1.10.2.	Muestreo de agentes biológicos .....	10
1.10.3.	Volumen y tiempo de muestreo .....	12
1.11.	Norma empleada. Asociación Instituto Técnico de Prevenición (ITP) de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el trabajo CEC. ....	13
2.	METODOLOGÍA .....	15
2.1.	Planta de tratamiento, objeto de la investigación .....	16
2.1.1.	Descripción de planta de tratamiento de tipo biológico aeróbica de lodos activados con aireación extendida: .....	16
2.1.2.	Puntos de muestreo.....	17
2.2.	Planta de Tratamiento ERIS USAC colonia La Aurora II .....	20
2.2.1.	Diseño de investigación.....	23
2.2.2.	Propuesta de muestreo .....	23
2.2.3.	Preparación y toma de muestras. ....	24
2.3.	Trabajos de operación y mantenimiento en planta de tratamiento de lodos activados .....	26
2.4.	Trabajos de operación y mantenimiento en planta de Tratamiento ERIS Aurora II .....	26
2.5.	Determinación de número de muestras.....	27
3.	RESULTADOS .....	31
3.1.	Resultados planta de tratamiento de lodos activados, sistema confinado.....	31
3.2.	Resultados planta piloto Eris Aurora II, sistema no confinado .....	35
4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	41

4.1.	Sistema de tratamiento de lodos activados ubicado en la zona 10 de la Ciudad de Guatemala.....	41
4.2.	Sistema de tratamiento de la planta piloto ERIS ubicada en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala.....	42
4.3.	Comparación de resultados entre planta de tratamiento confinada ubicada en zona 10 y planta de tratamiento ERIS ubicada en zona 13 de la Ciudad de Guatemala .....	43
CONCLUSIONES .....		45
RECOMENDACIONES.....		47
REFERENCIAS .....		49
APÉNDICES .....		51



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Distribución de la planta de tratamiento de lodos activados .....	18
<b>Figura 2.</b>	Flujograma de tratamiento de lodos activados.....	19
<b>Figura 3.</b>	Localización del sistema de tratamiento Aurora II.....	20
<b>Figura 4.</b>	Canal sedimentador de la planta piloto ERIS colonia Aurora II.....	21
<b>Figura 5.</b>	Filtro percolador planta piloto ERIS colonia Aurora II .....	22
<b>Figura 6.</b>	Sedimentador secundario planta piloto ERIS colonia Aurora II.....	22
<b>Figura 7.</b>	Conteo de colonias de bacterias .....	32
<b>Figura 8.</b>	Conteo de colonias de bacterias en tratamiento .....	32
<b>Figura 9.</b>	Distribución normal trampa de grasas, planta de tratamiento confinada .....	33
<b>Figura 10.</b>	Distribución normal de tratamiento de lodos activados, planta de tratamiento .....	33
<b>Figura 11.</b>	Conteo de colonias de bacterias en canal sedimentador.....	36
<b>Figura 12.</b>	Conteo de colonias de bacterias en filtro percolador .....	36
<b>Figura 13.</b>	Conteo de colonias de bacterias en sedimentador secundario.....	37
<b>Figura 14.</b>	Gráfica de distribución normal canal sedimentador planta piloto ...	37
<b>Figura 15.</b>	Gráfica de distribución normal filtro percolador planta piloto ERIS USAC.....	38
<b>Figura 16.</b>	Gráfica de distribución normal sedimentador secundario planta piloto ERIS .....	38

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Período de supervivencia de agentes patógenos .....	3
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los agentes biológicos .....	5
<b>Tabla 3.</b> Carga biológica con base en el número de colonias de una muestra .	14
<b>Tabla 4.</b> Resultados de prueba de hipótesis binomial .....	28
<b>Tabla 5.</b> Conteo de colonias de bacterias en planta de tratamiento de lodos activados.....	31
<b>Tabla 6.</b> Promedio y desviación estándar .....	31
<b>Tabla 7.</b> Conteo de colonias de bacterias en trampa de grasa de planta de tratamiento.....	34
<b>Tabla 8.</b> Conteo de colonias de bacterias en unidad de tratamiento de lodos activados.....	34
<b>Tabla 9.</b> Conteo de colonias de bacterias en planta de tratamiento piloto ERIS .....	35
<b>Tabla 10.</b> Promedio y desviación estándar de trampa de grasas.....	35
<b>Tabla 11.</b> Conteo de colonias de bacterias en canal sedimentador de planta piloto .....	39
<b>Tabla 12.</b> Conteo de colonias de bacterias en filtro percolador de planta piloto .....	39
<b>Tabla 13.</b> Conteo de colonias de bacterias en seimentador secundario de planta piloto .....	40

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\alpha$	Alpha
<b>gr</b>	Gramos
<b>L</b>	Litros
<b>M<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>ml</b>	Mililitros
<b>%</b>	Porcentaje
<b>p</b>	Probabilidad
<b>SD</b>	Sólidos disueltos
<b>T°</b>	Temperatura



## GLOSARIO

<b>Aguas residuales</b>	Son aguas que han sido afectadas negativamente por el ser humano, usadas en entornos domésticos, urbanos, ganaderos e industriales.
<b>Bacterias</b>	Organismos procariotas unicelulares, que se encuentran en casi todas las partes de la tierra.
<b>Cajas Petri</b>	Instrumento de laboratorio que consta de una base circular y sus paredes son de altura baja, aproximadamente de 1 cm.
<b>Coliformes fecales</b>	Son bacterias específicas del tracto intestinal de los animales de sangre caliente, incluidos los humanos.
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization.

<b>Lodos</b>	Formados por sustancias contaminantes y peligrosas para la salud, por ese motivo deben ser tratados.
<b>Muestreo biológico</b>	Permite conocer las principales características biológicas como sustancia o material proveniente de un organismo.
<b>Patógeno</b>	Agente infeccioso que puede provocar enfermedades en un huésped.
<b>Probabilidad binomial</b>	Es una distribución de probabilidad binomial discreta que describe el número de éxitos al realizar “n” experimentos independientes entre sí.
<b>Seguridad Ocupacional</b>	Conjunto de conocimientos que buscan garantizar el bienestar físico, mental y social del trabajador, controlando riesgos que puedan producir accidentes o enfermedades laborales.
<b>Sistema de tratamiento</b>	Operación o conjunto de operaciones que tienen por objetivo modificar las características físicas, químicas y biológicas de un residuo para reducir o neutralizar las sustancias peligrosas que contiene.
<b>SST</b>	Sólidos suspendidos totales
<b>Tuberculosis</b>	Enfermedad causada por la bacteria Mycobacterium tuberculosis. Por lo general ataca los pulmones, pero

puede atacar otras partes del cuerpo como la columna vertebral, riñones y el cerebro.

**UFC**

Unidades formadores de colonias



## RESUMEN

El siguiente trabajo tiene como objetivo identificar la presencia de bacterias en el ambiente en las plantas de tratamiento de aguas residuales e identificar las áreas de mayor riesgo para los operadores que se encargan de realizar la operación y mantenimiento.

Para identificar el número de bacterias en el ambiente de un sistema de tratamiento, se utilizó un muestreo pasivo por medios de cultivo utilizando agar y cajas petri para su incubación. Se realizó un análisis estadístico, donde se determinó el número de muestras necesarias para realizar un muestreo, y de esa manera obtener la cantidad bacterias presentes en las unidades del sistema de tratamiento en estudio que sea representativo.

Los resultados obtenidos se compararon con la norma de Asociación del Instituto Técnico de Prevención (ITP) de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el trabajo CEC, al carecer de norma nacional.

Los resultados indican el riesgo a contaminación biológica en el aire del ambiente de ocupacional a que están expuestos los operadores de estas, al encontrar unidades formadoras de colonias UFC, que superan en número los límites máximos de la norma de referencia.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad no se cuenta con una normativa que proteja a los operadores de enfermedades ocupacionales por la actividad de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, incluso se contrata al personal que solo reciben inducción y capacitación para operar y mantener la planta, pero no reciben instrucciones claras de cómo evitar los riesgos de enfermedades ocupacionales.

El Ministerio de Trabajo y el seguro social han abordado el tema en forma general, careciendo de normas de protección específica y que protejan al trabajador de riesgos biológicos por exposición en este tipo de instalaciones.

La contaminación por bacterias en los ambientes de trabajo, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ha sido poco estudiada debido a que la mayoría de los estudios se enfocan en determinar la calidad de agua sanitaria tratada y a la eficiencia del sistema de tratamiento.

Los riesgos bacteriológicos a los que se exponen los trabajadores de un sistema de tratamiento pueden dar como consecuencia complicaciones en la salud dependiendo del grado de exposición del operador.

Por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿El muestreo biológico en las áreas ocupacionales permitirá determinar el riesgo de enfermedades a la que son expuestos los operadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales?



## JUSTIFICACIÓN

La mayoría de las plantas de tratamiento en la república de Guatemala, no poseen un programa de seguridad ocupacional donde pueda identificarse todos los riesgos a que están expuestos en el momento de realizar labores de operación y mantenimiento de las unidades que conforman un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Se carece de conocimiento respecto al tema de salud y seguridad ocupacional en las plantas de tratamiento, especialmente al momento de analizar riesgos biológicos, aspecto que no se toma en cuenta y no se le da la importancia que debería tener, en especial la carga biológica que se puede encontrar en el aire.

Es importante la protección de la salud y seguridad de los operadores de plantas de tratamiento, para esto se deben hacer estudios para determinar la carga contaminante biológica en este tipo de labor, que permitan desarrollar planes y programas de protección ocupacional.

El peligro para los trabajadores proviene principalmente de la exposición a los microorganismos contenidos en los desechos humanos y animales. Se han informado síntomas agudos que incluyen dificultad respiratoria, dolores abdominales y diarrea en trabajadores involucrados en la operación y mantenimiento de dichos sistemas (Crook, 1988).



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la cantidad de bacterias presentes en el aire, en las unidades que componen el sistema de tratamiento y presentan un riesgo para la salud de los operadores.

### **Específicos**

1. Realizar la toma de muestras en sistemas de tratamiento confinado y no confinado, de manera que se observe la cantidad de bacterias en el aire que presenta cada uno.
2. Comparar los resultados con los estudios realizados por la Asociación del Instituto Técnico de Prevención (ITP) de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el trabajo CEC, estableciendo el grado de contaminación por medio de las unidades formadoras de colonias (UFC) obtenidas en el muestreo.
3. Evaluar el riesgo para los operadores, expuestos a este tipo de contaminantes en el ambiente de trabajo.



## **HIPÓTESIS**

El resultado del muestreo pasivo del aire, en las instalaciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales supera las 29 unidades formadoras de colonias UFC, determinado que los operadores están expuestos a riesgos biológicos ocupacionales.



## ANTECEDENTES

Se desarrolló investigación respecto al Diseño del Sistema de Salud y Seguridad Ocupacional en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de IBARRA de la EMAPA-I, Ecuador, este estudio realizó la detección de bacterias presentes en el ambiente de cada una de las unidades que componen la planta de tratamiento de aguas residuales.

Los resultados obtenidos en este estudio se compararon con los criterios del Instituto Técnico de Prevención (ITP), que establece el grado de contaminación por medio de las unidades formadoras de colonias presentes UFC.

Según Coulson, (2023) se han realizado otros estudios respecto a trabajos de seguridad ocupacional para detectar agentes bacteriológicos en el aire, por ejemplo, la investigación realizada en el aire en los ambientes del laboratorio clínico Biomedic, Nicaragua.

En este estudio determinó similitudes en términos de la exposición a agentes biológicos y las enfermedades asociadas, así como los efectos en la salud de los trabajadores.

Se pueden citar también estudios sobre procedimientos de muestreo microbiológicos en el aire del Instituto de Salud Pública de Chile, para esto Valenzuela, (2020) plantea que los ambientes estudiados fueron cabinas de seguridad biológicas, áreas biolimpias, salas blancas, y de contaminación

controlada, utilizando para el procedimiento, cajas petri para la toma de muestras y medio agar como medio de cultivo.

En la Universidad de San Carlos se han desarrollado diversos estudios, realizados por la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia principalmente para determinación de hongos en el aire en ambientes de trabajo de diferentes laboratorios. Se determinó que existe contaminación por hongos microscópicos en el interior y exterior del CIAT y LIPRONAT, con valores mayores a las 500 unidades formadoras de colonia por metro cúbico de aire analizado (Solís, 2011).

## ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

- Alcances

Con el desarrollo de este trabajo de investigación se busca detectar el grado de contaminación al que los operadores de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se exponen, siguiendo las metodologías y normativas del ITP.

El estudio fue desarrollado en la ciudad de Guatemala en dos plantas de tratamiento: una instalada en un ambiente confinado y la otra instalada en ambiente abierto.

- Limitaciones

Acceso a las plantas de tratamiento, debido a que muchas empresas del sector privado que las construyen en la ciudad de Guatemala, se reservan el derecho de admisión, permitiendo el acceso únicamente a sus trabajadores con el fin de evitar incertidumbre o divulgación de los resultados.

No se pudo contar con un equipo adecuado para la detección de la carga bacteriológica en el aire ni se contó con los reactivos pertinentes al haber falta de los mismos en el mercado nacional, por lo que la investigación se desarrolló mediante el empleo de muestreo pasivo.

No se tuvo una medición de temperatura, durante el muestreo.

En los sistemas de tratamiento en estudio, no se cuenta con un mantenimiento continuo, por lo que no se tiene una frecuencia de mantenimiento definida.

## INTRODUCCIÓN

El aumento de construcción, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales aumenta la demanda de trabajadores para hacer desarrollar estas actividades ocupacionales, estas personas están expuestas a agentes bacteriológicos y pueden correr el riesgo de presentar enfermedades perjudiciales para su salud y la de sus familias.

Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado no es tarea fácil. Además de considerar la viabilidad técnica y los costos económicos, también se deben tener en cuenta los impactos del sistema a lo largo del ciclo de vida, incluida la construcción, la operación y el mantenimiento (Arias, 2024).

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de detectar la cantidad de bacterias presentes en cada uno de los diferentes ambientes que ocupan las unidades de tratamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que se pueden encontrar en la ciudad de Guatemala y comparar los resultados con estudios realizados para determinar el grado de contaminación bacteriológica en este tipo de ambientes.

El muestreo pasivo evidencia la presencia de unidades formadoras de colonias UFC en los sitios objeto del muestreo.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Evaluación de riesgos en sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Los seres humanos excretan alrededor de 250 gramos de desechos sólidos por día, incluidos 2000 millones de bacterias coliformes por persona por día. Las tasas de producción de desechos sólidos industriales van desde 0.12 toneladas por empleado por año en instituciones profesionales y científicas hasta 162.0 toneladas por empleado por año (Duncan, 1974).

El agua residual constituye un vector potencial importante de enfermedades por contacto o inhalación. Múltiples elementos patógenos pueden tener un efecto dañino sobre la salud humana, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Bacterias
- Parásitos
- Virus
- Hongos

## **1.2. Principales vías de contaminación**

El riesgo mayor está asociado con los agentes patógenos transportados en el agua residual y la presencia de patógenos puede variar según su origen doméstico o industrial, las condiciones climáticas, el nivel de higiene en la planta

y las enfermedades endémicas. El riesgo de contaminación biológica dependerá de:

- Si el microorganismo está presente de manera significativa
- El nivel de supervivencia en el entorno
- El grado de exposición de los trabajadores

Las vías de contaminación de los agentes biológicos por el contacto con aguas residuales y los patógenos presentes en ellas son:

- El riesgo de inhalación es máximo en zonas de cribado, cerca de los reactores biológicos o a proximidad de aspersores de riego en caso de una reutilización.
- El riesgo de inhalación es máximo en zonas de deshidratación o de secado de los lodos secundarios o en su caso primario.
- El riesgo de contacto es máximo durante la operación de equipos de cribado grueso o fino, de filtros prensa o filtros banda, de bombas sumergibles, de tomas de muestra. Las vías de entrada principales son a través de la piel, por heridas o a través de las mucosas.
- La manipulación de muestras en laboratorio sin el equipo adecuado
- El riesgo se incrementa con contacto de las manos con la boca, consumir alimentos en zonas operativas o salpicaduras.

### 1.3. Sobrevivencia de agentes patógenos

El periodo de supervivencia de varios agentes patógenos puede alcanzar semanas o meses. La reutilización de aguas residuales en espacios verdes siempre debe considerar los objetivos normativos más estrictos para evitar riesgos de propagación de enfermedades.

**Tabla 1.**

*Período de supervivencia de agentes patógenos*

Agente Patógeno	Período de supervivencia	
	En el suelo	En los cultivos
VIRUS		
<b>Enterovirus D</b>	< 100 comúnmente < 20 días	< 60 comúnmente < 15 días
BACTERIAS		
<b>Coliformes fecales</b>	< 70 comúnmente < 20 días	< 30 comúnmente < 15 días
<b>Salmonela spp</b>	< 70 comúnmente < 20 días	< 30 comúnmente < 15 días
<b>Vibrio cholera</b>	< 20 comúnmente < 10 días	< 5 comúnmente < 2 días
PROTOZOARIOS		
<b>Quistes entamoeba histolytica</b>	< 20 comúnmente < 10 días	< 10 comúnmente < 2 días
HELMINTOS		
<b>Huevos de Ascarislumbricoides</b>	muchos meses	< 60 comúnmente < 30 días
<b>Larvas de anquilostomas</b>	< 90 comúnmente < 30 días	< 30 comúnmente < 10 días
<b>Huevos de Taeniasaginata</b>	muchos meses	< 60 comúnmente < 30 días
<b>Huevos de Trichuristrichiura</b>	muchos meses	< 60 comúnmente < 30 días

*Nota.* Se presentan el periodo de supervivencia. Obtenido de Gestal Otero (2003) *Riesgos laborales de PERSONAL Sanitario J.J.* (p.77.) McGraw-Hill Interamericana.

#### **1.4. Peligros biológicos**

En el caso de los peligros biológicos, se refiere a micro y microorganismos patógenos y a los residuos, que, por sus características fisicoquímicos, pueden ser tóxicos para las personas que entren en contacto con ellos, desencadenando enfermedades infectocontagiosas, reacciones alérgicas o intoxicaciones.

Los indicadores que pueden representar un peligro biológico es la exposición a microorganismos como virus, bacterias, hongos y parásitos.

#### **1.5. Riesgos biológicos**

Se entiende por riesgo biológico laboral cualquier infección, alergia o toxicidad causada por microorganismos (con inclusión de los genéticamente modificados, los cultivos celulares y los endoparásitos humanos), que pueda contraer un trabajador.

Provoca efectos tales como:

- Envenenamiento por endotoxinas
- Micotoxinas
- Cuadros infecciosos causados por virus, bacterias y parásitos
- Alergias causadas por exposición a mohos, polvos orgánicos, ácaros

**Tabla 2.**

*Clasificación de los agentes biológicos*

<b>Grupo de Riesgo</b>	<b>Riesgo Individual</b>	<b>Riesgo Comunitario</b>	<b>Carga Biológica (U.F.C.) por ml</b>
<b>Grupo I</b> (B subtilis E. coli K12)	Poco Probable que cause enfermedad en el hombre.	Escaso a nulo	$1 \times 10^7 - 1 \times 10^9$
<b>Grupo II</b> (Clostridium tetani, v. sarampión, adenovirus)	Puede causar enfermedad y constituir un peligro para los trabajadores.	Poco probable	$1 \times 10^3 - 1 \times 10^6$
<b>Grupo III</b> (Brucella spp.M.tuberculosis Herpesirus simiae)	Puede causar enfermedad grave y constituir un serio peligro para los trabajadores.	Probable	$1 \times 10^2 - 1 \times 10^5$
<b>Grupo IV</b> (v.de Marburg, v Ébola, v. de Lassa)	Causan enfermedad grave y constituyen un serio peligro para los trabajadores.	Elevado	$1 \times 10^4 - 1 \times 10^6$

*Nota.* En la tabla se presentan los agentes biológicos según su clasificación. Obtenido de Gestal Otero (2003) *Riesgos laborales de PERSONAL Sanitario J.J.* (p.77.) McGraw-Hill Interamericana.

### **1.6. Vías de entrada agentes biológicos**

La transmisión de agentes biológicos en el trabajo a partir de una “fuente” (individuo, animal, equipamiento o material) puede ocurrir por diferentes medios:

- Mucosas
- Dérmica
- Respiratoria
- Sanguínea
- Digestiva

### **1.7. Dosis infectiva mínima**

Es la cantidad mínima de agente que tiene que penetrar en el individuo para provocar una enfermedad. La dosis infectiva puede variar según:

- Agente biológico
- Vía de entrada
- Resistencia del huésped

### **1.8. Identificación de riesgos biológicos por medio de un muestreo biológico pasivo**

Con la medición de riesgos biológicos se persigue determinar la concentración de los agentes contaminantes en un ambiente. Ello implica dos aspectos fundamentales: la toma de muestras y el análisis de estas (ACGIH, 2022)

En una evaluación higiénica, la evaluación de agentes contaminantes consiste en la metodología que ayuda a proporcionar la información básica para la toma de decisiones. Para que esto sea así, se debe tener la garantía de que las mediciones realizadas son representativas de la exposición y fiables.

Hay que tener en cuenta que los métodos de medición de agentes biológicos presentan una serie de limitaciones que tienen como consecuencia la escasa fiabilidad de los resultados. Estas limitaciones se podrían resumir en la falta de homologación y validación de los métodos disponibles, tanto para la toma de muestras, como para la detección y análisis de los resultados (Hernández Calleja, 2001).

La detección de bacterias, hongos y parásitos, mediante el análisis de Placa Petri expuesta a medio ambiente es una técnica pasiva, semicualitativa, aceptable, rápida, y descriptiva que puede guiar a conclusiones de situación de carga biológica en ambiente que se utiliza en evaluaciones de riesgos específicas.

Sin usar medios dinámicos de captación de aire o impregnación sobre placas de cultivo, se expone durante un tiempo predeterminado la superficie de cultivo de una placa petri, para su posterior almacenamiento en condiciones predeterminadas y finalmente se comparan sus resultados expresados por medio de Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

### **1.9. Metodología de muestreo**

La metodología de muestreo consiste en obtener una cierta cantidad de muestras con base en un análisis estadístico por medio de la distribución binomial, debido a que cada prueba se realiza de manera independiente y no afecta el resultado de las demás muestras.

Este método estadístico ayuda a obtener un número específico de éxitos en un conjunto de pruebas determinado.

El muestreo, al ser independiente entre cada muestra, ayuda a determinar su ausencia o presencia en cada punto de muestreo y como estas van variando conforme cambian las condiciones de su entorno.

Con la medición se busca determinar la concentración de bacterias como agentes contaminantes en un ambiente. Ello implica dos aspectos

fundamentales: la toma de muestras y el análisis de estas. La muestra debe ser manipulada de tal forma que no se contamine durante su captación, análisis y que los agentes biológicos sufran los mínimos cambios posibles.

Sin embargo, es un hecho que los resultados obtenidos en una medición ambiental no son siempre fiables ni fáciles de interpretar, por esta razón, se realiza un análisis estadístico, con el fin de obtener la cantidad de muestras necesaria para poder tener resultados más acertados respecto la cantidad de bacterias presentes en la etapa en estudio.

#### **1.10. Contaminantes biológicos en el aire**

Los agentes biológicos incluyen bacterias, hongos, virus, arácnidos, algas y parásitos. El término "agente biológico" se refiere a una sustancia de origen biológico capaz de producir un efecto adverso para la salud.

Los bioaerosoles son aerosoles compuestos o derivados de organismos vivos y pueden incluir organismos viables e inviables, virus, fragmentos, toxinas y residuos particulados. Los agentes biológicos son omnipresentes en la naturaleza, pero pueden amplificarse en entornos y materiales artificiales. (ACGIH, 2022)

Los seres humanos están expuestos con frecuencia, a una amplia variedad de estos contaminantes en concentraciones variables (generalmente niveles muy bajos que no provocan una respuesta, ni suponen un riesgo para la salud), que no necesariamente son dañinos.

La contaminación biológica en interiores puede definirse como la presencia de:

- Bioaerosoles que probablemente causen o predispongan a los humanos a efectos sobre la salud.
- Concentraciones inapropiadas de bioaerosoles en el aire en interiores, según lo determinado a través de la consideración del tipo de espacio o los propósitos de ocupación.
- Crecimiento microbiano en interiores, amplificación o restos de crecimiento biológico, o fuentes de agentes infecciosos o patógenos, ya sea depositados, acumulados o amplificado a los que los humanos pueden estar expuestos.

Ocasionalmente, el monitoreo ambiental (es decir, muestreo microbiano del aire), detecta un contaminante biológico único o predominante. El muestreo microbiano del aire revela una mezcla de muchos materiales de origen biológico, lo que refleja la naturaleza diversa e interactiva de los microambientes interiores (ACGIH, 2022)

#### **1.10.1. Bioaerosoles totales cultivables o contables**

Los bioaerosoles cultivables son bacterias, virus y hongos que pueden muestrearse mediante métodos reconocidos, aceptados, y posteriormente cultivarse en medios de cultivo en el laboratorio. Dichos resultados se expresan como el número de unidades formadoras de colonias UFC por volumen muestreado. Los bioaerosoles contables son esporas de hongos, células bacterianas y otros materiales que pueden identificarse y contarse mediante microscopio.

De acuerdo con ACGIH, (2022) las concentraciones de bioaerosoles cultivables o contables no tienen respaldo científico debido a lo siguiente

- Los microorganismos cultivables y las partículas biológicas contables no constituyen una sola entidad (es decir, los bioaerosoles en entornos ambientales y no agrícolas son generalmente mezclas complejas de diversas partículas microbianas, animales y vegetales).
- Las respuestas humanas a los bioaerosoles varían desde efectos inocuos hasta enfermedades graves, incluso mortales, según el agente específico involucrado y la susceptibilidad del individuo a él. Por lo tanto, un límite de exposición adecuado para un bioaerosol puede ser totalmente inadecuado para otro y ninguno de los dos puede generalizarse a una población amplia.
- Existen numerosos métodos fiables para recolectar y analizar materiales de bioaerosol. Sin embargo, los diferentes métodos de recolección y análisis de muestras pueden dar lugar a estimaciones diferentes de las concentraciones de bioaerosol cultivables y contables, incluso utilizando los mismos métodos básicos de muestreo.

### **1.10.2. Muestreo de agentes biológicos**

Según Hernández Calleja, (2001) para la metodología de evaluación de la exposición a agentes biológicos se necesita de un trabajo previo de análisis en el que, partiendo de la máxima información disponible sobre la actividad laboral en estudio, se puedan definir las herramientas que se van a utilizar para alcanzar el objetivo planteado, que no es otro que evitar o limitar la exposición.

Estas herramientas consisten en las siguientes:

- Planificación de la medición
- Diseño de criterios de valoración
- Selección de las medidas de prevención y control de la exposición

En las investigaciones de la exposición laboral a bioaerosoles y en el análisis de calidad de aire interior, la medición puede ser utilizada para caracterizar (nivel y tipo) la contaminación típica o de fondo y para identificar posibles desviaciones sobre ese fondo.

Para determinar el punto de muestreo se debe considerar lo siguiente:

- Identificar provisionalmente los focos de contaminación y estimar la posibilidad de generación de aerosoles. Tratar de predecir los gradientes espaciales y temporales de bioaerosoles.
- Identificar las zonas en las que puede haber diferencias en la composición y concentración de los bioaerosoles, por ejemplo: en el exterior y en el interior o en las proximidades del foco de contaminación y en las áreas definidas como "control".
- Identificar los trabajadores que pueden padecer las exposiciones más altas y las más bajas.
- Identificar las zonas a las que se puede o no tener acceso
- Seleccionar por lo menos una localización donde se haya anticipado una exposición alta.

- Dónde se haya anticipado una exposición baja
- En el exterior, cerca de las tomas de aire
- Si fuera de aplicación, muestrear en áreas el exterior, cerca de fuentes potenciales (reservorios) de contaminación que pudieran entrar en el ambiente en estudio.
- En el exterior, en una zona suficientemente alejada de los focos potenciales de contaminación.

### **1.10.3. Volumen y tiempo de muestreo**

Uno de los aspectos que mayor relevancia es al momento de seleccionar un equipo de muestreo que pueda adaptarse a las necesidades de la medición.

El volumen de aire aspirado y el tiempo de muestreo están relacionados por el mínimo volumen de aire necesario para detectar el agente de interés a una concentración determinada. A su vez, el volumen y el tiempo dependen del caudal de aspiración al que está calibrado el equipo de medición (Hernández Calleja, 2001).

El límite inferior de detección para un método de toma de muestra de un bioaerosol puede establecerse con base en:

- La mínima cantidad de material que el método analítico puede detectar, por ejemplo, una unidad formadora de colonia (UFC) por placa.
- La eficacia de conservación biológica del método de ensayo

- El caudal de aire al que está calibrado el muestreador
- El tiempo máximo de muestreo que permite el equipo

#### **1.11. Norma empleada. Asociación Instituto Técnico de Prevención (ITP) de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el trabajo CEC**

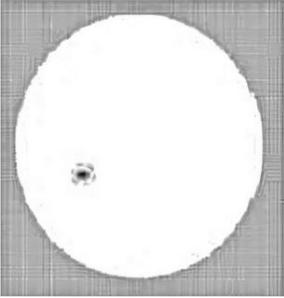
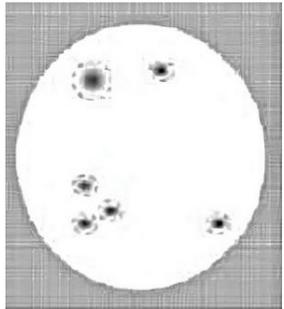
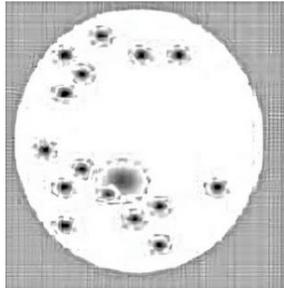
El Instituto Técnico de Prevención (ITP) es una organización de ámbito regional y carácter técnico para la prevención de riesgos laborales, la formación de profesionales y cultura preventiva en Europa que se encarga de velar por el cumplimiento de las normativas vigentes y analiza factores que pueden dañar la salud humana.

Es una organización de naturaleza asociativa con marcado carácter técnico que resalta entre sus objetivos la promoción de la cultura preventiva de riesgos laborales y medioambientales, reducción de índices de siniestralidad y salud laboral, contaminación ambiental y la promoción de la preparación técnica de los profesionales del sector.

La Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo CEC o EU-OSHA, como se le conoce, es la agencia de información de la Unión Europea para la seguridad y la salud en el trabajo. Su trabajo contribuye al marco estratégico de la Comisión Europea en materia de salud y seguridad en el trabajo 2021-2027 y a otras estrategias y programas relevantes de la UE. (Agencia Europea para la Salud y Seguridad en el Trabajo, 2011).

**Tabla 3.**

*Carga biológica con base en el número de colonias de una muestra*

Apariencia	Número de Colonias	Carga Biológica
	1 Conteo $x < 4$ U.F.C	Contaminación microbiana baja
	6 Conteos $4 < x < 13$ U.F.C	Contaminación microbiana media
	16 Conteos $13 < x < 28$ U.F.C	Contaminación microbiana alta

*Nota.* Se presenta la carga biológica. Obtenido de Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el trabajo CEC (2024) *Qué hacemos*. (<https://osha.europa.eu/es/about-eu-osha/what-we-do>), consultado el 9 de septiembre de 2024. De dominio público.

## 2. METODOLOGÍA

Se inició haciendo una inspección de las plantas de tratamiento existentes, determinando su tipo de tratamiento, su ubicación, accesibilidad y su exposición a agentes bacteriológicos en el ambiente en el que se localizan.

Se escogieron dos plantas de tratamiento para hacer la investigación. La primera planta de tratamiento se encuentra en un ambiente confinado, ubicada en la zona 10 de la ciudad de Guatemala es un sistema de tratamiento aeróbica de lodos activados.

La segunda planta de tratamiento cuenta con un canal sedimentador, filtro percolador y sedimentador secundario siendo parte del sistema de tratamiento de la Planta Piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS, ubicada en la colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala.

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, el riesgo de inhalación de agentes bacteriológicos es máximo en zonas de cribado, cerca de los reactores biológicos o de secado de los lodos secundarios y en su caso primario.

El riesgo de contagio es máximo durante la operación de equipos de cribado grueso o fino. Las vías de entrada principales son a través de la piel, por heridas o a través de las mucosas. El riesgo se incrementa con contacto de las manos con la boca, consumir alimentos en zonas operativas o salpicaduras.,

En entrevista con el licenciado Oscar Federico Nave Herrera, profesor extraordinario de estadística de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se determinó realizar un análisis estadístico de tipo exploratorio, con el objetivo de determinar la cantidad de muestras a realizar para esta investigación.

## **2.1. Planta de tratamiento, objeto de la investigación**

Se escogieron dos plantas de tratamiento por su acceso y la primera de lodos activados, que se ubica en un área confinada, en el sótano siete del edificio, localizado en la zona 10 de la ciudad de Guatemala a una latitud de  $14^{\circ}36'2.80''$  al norte y longitud de  $90^{\circ}30'49.60''$  al oeste.

La segunda área de estudio se localiza en la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) *Ing. Arturo Pazos Sosa*, ubicada en Diagonal 26 20-56, colonia Aurora II zona 13 de la ciudad de Guatemala a una latitud de  $14^{\circ}34'41.98''$  norte y longitud de  $90^{\circ} 32' 11.32''$  oeste.

### **2.1.1. Descripción de planta de tratamiento de tipo biológico aeróbica de lodos activados con aireación extendida**

El proceso de tratamiento aeróbico de aguas residuales, por medio de lodos activados, con aireación extendida se compone de las siguientes unidades de tratamiento:

- Canal de rejillas
- Trampa de grasas
- Contactor anóxico
- Reactor aeróbico + MBBR

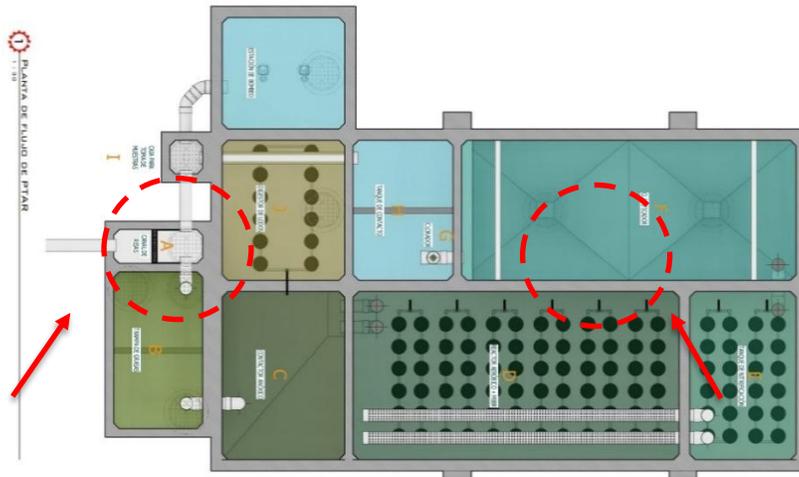
- Tanque de nitrificación
- Clarificador
- Digestor de lodos
- Clorinador
- Tanque de contacto (cloración)
- Caja de toma de muestras y medición de caudales

### **2.1.2. Puntos de muestreo**

Para la toma de muestras de la planta de tratamiento tipo aeróbica de lodos activados y de aireación extendida, se tomaron muestras en el módulo de trampa de grasas y en la etapa de tratamiento, con el objetivo de determinar la cantidad de bacterias que se presentan en estos puntos que componen las fases de afluente y efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales:

**Figura 1.**

*Distribución de la planta de tratamiento de lodos activados*



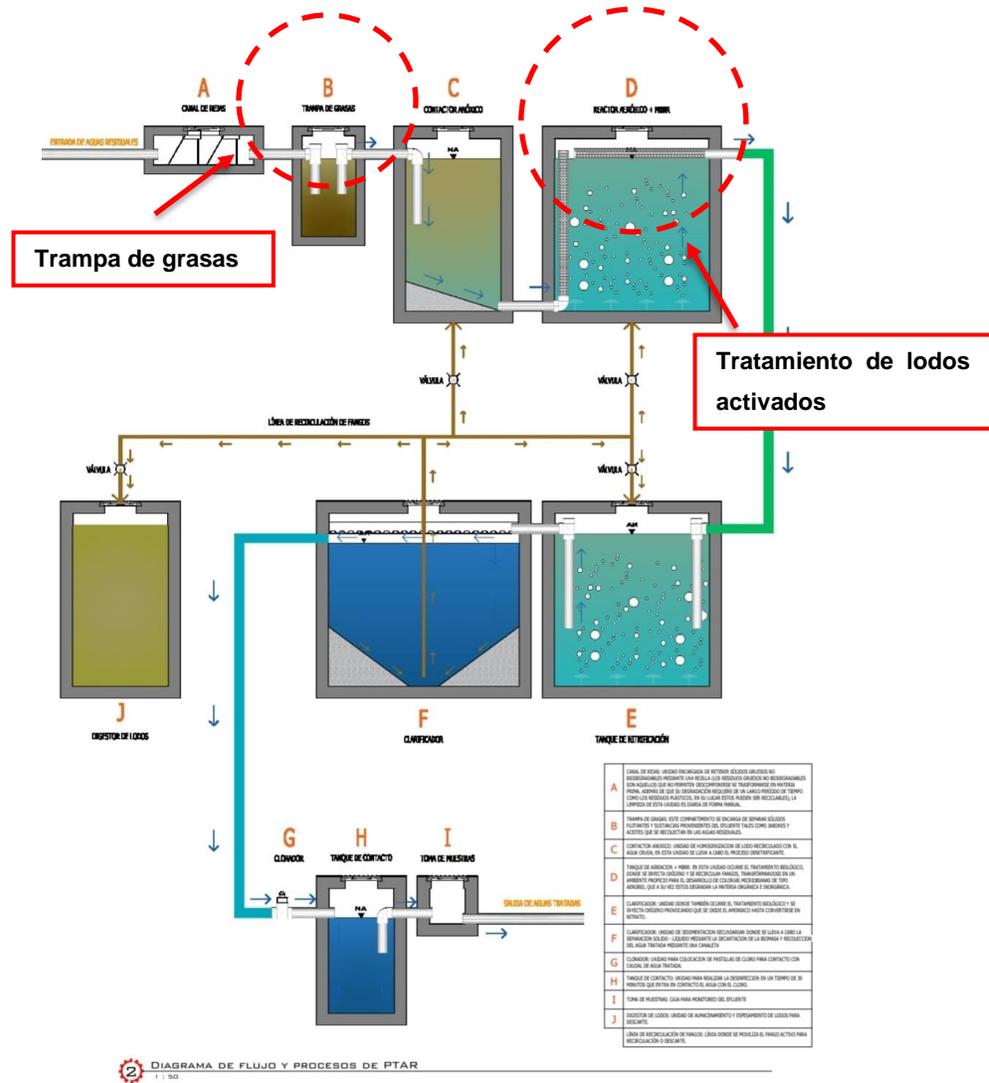
**Trampa de grasas**

**Tratamiento de lodos activados**

*Nota.* En la imagen se observa la distribución de la planta. Obtenido de Sobalvarro, (2020) *Memoria de diseño planta de tratamiento de Aguas Residuales.* (<http://www.repositorio.usac.edu.gt/17050/1/Carlos%20Jesús%20Antonio%20Sobalvarro%20Woods.pdf>) consultado el 13 de septiembre de 2024. De dominio público.

**Figura 2.**

*Flujograma de tratamiento de lodos activados*



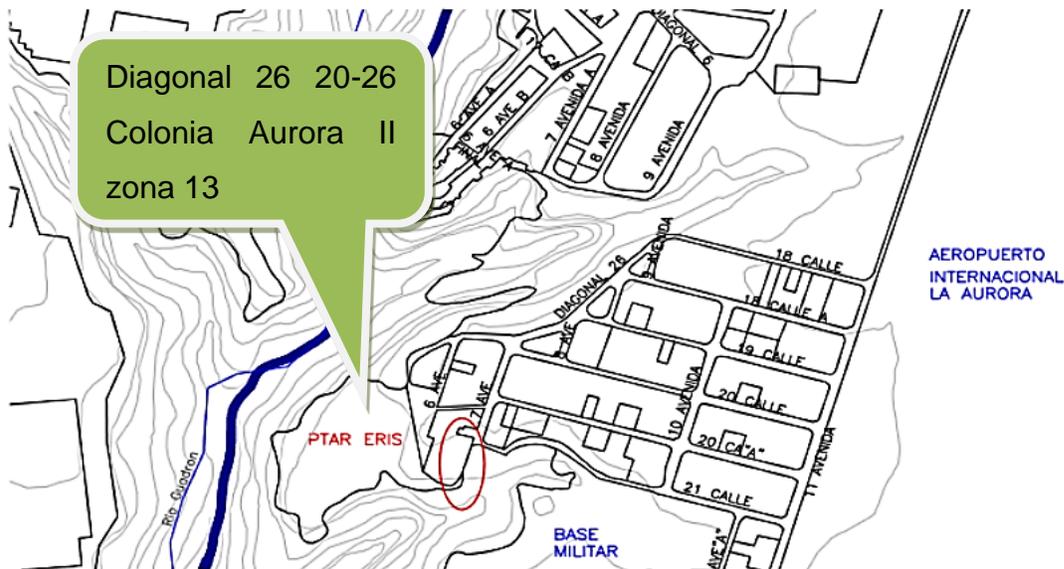
Nota. Imagen del flujograma respectivo. Obtenido de Sobalvarro, (2020) *Memoria de diseño planta de tratamiento de Aguas Residuales*. (<http://www.repositorio.usac.edu.gt/17050/1/Carlos%20Jesús%20Antonio%20Sobalvarro%20Woods.pdf>), consultado el 13 de septiembre de 2024. De dominio público.

## 2.2. Planta de tratamiento ERIS USAC colonia La Aurora II

De los sistemas de tratamiento que componen la planta piloto Aurora II, se escogió el sistema de filtros percoladores, integrado por las siguientes unidades: sedimentador primario, filtros percoladores y sedimentador secundario.

### Figura 3.

*Localización del sistema de tratamiento Aurora II*



*Nota.* Ubicación del sistema de tratamiento. Elaboración propia, realizado con hojas cartográficas IGN.

Se tomaron las muestras de las siguientes etapas que componen la planta piloto Aurora II:

- Canal sedimentador (sedimentador primario): su función es separar los sólidos sedimentables en el agua mediante la acción de la gravedad.

- El agua circula lentamente para permitir que los sólidos en suspensión sedimenten al fondo de esta unidad. Esta etapa tiene la capacidad de eliminar hasta un 60 % de los sólidos suspendidos.

**Figura 4.**

*Canal sedimentador de la planta piloto ERIS colonia Aurora II*



*Nota.* Imagen del canal sedimentador. Elaboración propia

- Filtro percolador: sistema de tratamiento que pone en contacto las aguas residuales sedimentadas con cultivos biológicos y oxígeno, donde los microorganismos convierten las sustancias complejas principalmente orgánicas en material celular viviente o en sustancias más simples y sedimentables.

**Figura 5.**

*Filtro percolador planta piloto ERIS colonia Aurora II*



*Nota.* Imagen de filtro percolador. Elaboración propia.

- Sedimentador secundario: el agua sale de los filtros percoladores en hacia un sedimentador secundario para que los contaminantes precipiten en el fondo de este sedimentador.

**Figura 6.**

*Sedimentador secundario planta piloto ERIS colonia Aurora II*



*Nota.* Imagen del sedimentador secundario. Elaboración propia.

### **2.2.1. Diseño de investigación**

La presente investigación obedece un diseño de tipo no experimental, ya que no se manipulan los datos deliberadamente, es decir, en una investigación donde no se hacen variar los datos intencionalmente, las variables son independientes, se observan los fenómenos tal y como se ven en su contexto natural para después analizarlos.

Se empleó el método estadístico de distribución binomial, debido a que es una distribución de probabilidad de variables discretas que cuenta el número de éxitos en una frecuencia de “n” ensayos independientes entre sí.

### **2.2.2. Propuesta de muestreo**

Se debe realizar el muestreo en puntos diferentes de los sistemas de tratamiento, con el objetivo de determinar el número de conteo de bacterias en presencia del aire y así determinar el grado de contaminación presente en las etapas de estudio.

De acuerdo con la distribución de probabilidad binomial, se requiere como mínimo de 7 muestras de cada etapa para probar la hipótesis que la probabilidad de contaminación por bacterias no es un evento aleatorio, a un nivel de significancia de 0.05 ( $\alpha$ ).

Por lo tanto, se realizaron 7 muestras en la trampa de grasa y 7 muestras en la etapa de tratamiento del sistema de tratamiento de lodos activados ubicado en la zona 10 de la Ciudad de Guatemala.

En el caso de la planta piloto Aurora II se realizaron 7 muestras en el canal sedimentador (sedimentador primario), 7 muestras en el filtro percolador y 7 muestras en el sedimentador secundario.

### **2.2.3. Preparación y toma de muestras**

El medio agar es un agente que se utiliza para solidificar los medios de cultivo de bacterias y hongos. Se extrae de algas marinas y está compuesto por agarosa y agarpectina. Es un medio utilizado cotidiano y ampliamente en microbiología para el cultivo selectivo de mohos y levaduras. Para la toma de muestras se siguen los siguientes pasos:

- Para la preparación y esterilización de las cajas Petri, se realizó la preparación del medio de cultivo en el Laboratorio de Química y Microbiología Dra. Alba Tabarini Molina, ubicado en el edificio T5 de la Facultad de Ingeniería, zona 12 de la Ciudad de Guatemala.
- Se tomó agar de 20 gr/ 1 litro, agua destilada (450 ml) y se colocan 9 gramos de agar para mezclar con agua destilada.
- Se procede a batir la concentración del agar y agua destilada. Se utiliza un horno para calentar el destilada y el agar por 30 minutos. Para este procedimiento se utilizó baño de María.
- Luego de pasar 30 minutos se procede a tomar 10.5 ml de agar utilizando la pipeta y se colocan en cada uno de los tubos (probetas).
- La medida de cada probeta se esperó a que enfriara un poco y luego se colocó una medida por cada caja Petri para finalmente colocar los medios

de cultivo preparados en la incubadora durante 24 horas, previo a dirigirse a realizar la toma de muestras al sitio en estudio.

- Se tomaron muestras en 2 puntos de la PTAR ubicada en la zona 10 de la Ciudad de Guatemala, siendo en la caja de rejillas y en la etapa de tratamiento de lodos activados. Se expone una caja Petri por un lapso de 30 minutos en las unidades antes mencionadas del sistema durante 7 días.
- Se tomaron muestras en 3 puntos de la PTAR ubicada en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala, siendo el sedimentador primario, filtro percolador y sedimentador secundario. Se expone una caja Petri por un lapso de 30 minutos en las unidades antes mencionadas del sistema durante 7 días.
- Se coloca la placa petri en el lugar donde se desee obtener la medición. Se recomienda que se coloque a una altura media para evitar salpicaduras de agua o algún agente externo que contamine el agar.
- Después de la colocación se descubre la placa, retirando la tapadera de esta (se recomienda dejar la tapadera a continuación del recipiente con el agar apoyada sobre la parte exterior) con una exposición 30 minutos aproximadamente.
- Tras este tiempo, se cierra la placa petri con la tapa y fije la placa petri para el transporte al laboratorio para realizar el conteo de colonias de bacterias.
- Cabe mencionar que las placas Petri estarán en sitio durante un lapso de 24 horas de manera que se cultiven las colonias de bacterias y deberán encontrarse a una temperatura de 25 °C.

- Llevar a cabo la lectura de las UFC (Unidades formadoras de colonias) que aparecen en la Placa Petri. La placa se incubará colocando la tapadera (el diámetro mayor del producto) sobre la superficie donde vaya a reposar lo días indicados, (boca abajo).
- Si la temperatura de cultivo no resulta constante, y puede en intervalos de tiempo ser inferior a la de 25 °C, el tiempo de incubación podrá ser de 5 o 6 días, en cuyo caso los resultados no aparecerán hasta transcurridos este tiempo.
- Se realiza el conteo de bacterias presente en la placa Petri, a partir del número Unidades Formadoras de Colonias (UFC) que hay en el ambiente, se determina el grado de contaminación presente en el ambiente.

### **2.3. Trabajos de operación y mantenimiento en planta de tratamiento de lodos activados**

Durante la toma de muestras de 7 días, se observó que el operador realizaba labores de operación y mantenimiento durante 1 hora al día, luego dejaba trabajar el sistema hasta al cambio de turno siendo de 12 horas cada turno.

### **2.4. Trabajos de operación y mantenimiento en planta de tratamiento ERIS Aurora II**

Se realizó la toma de muestras durante 7 días en la planta de tratamiento de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) colonia Aurora II en cada

una de las etapas que comprenden el canal sedimentador (sedimentador primario), filtro percolador y sedimentador secundario.

En el caso del canal sedimentador, el operador realiza la limpieza de los lodos cada 24 horas o si se observa que el canal sedimentador presenta demasiados lodos, se realizan los trabajos de limpieza cuando sea necesario, con el objetivo que el canal sedimentador trabaje de manera adecuada.

En el filtro percolador, se colocó la caja Petri a una altura de 30 centímetros de manera que no se presentara salpicaduras en la salida del Filtro y así no afectar el medio de cultivo.

En el sedimentador secundario, el operador indicó que la limpieza de dicho sedimentador se hace periódicamente al momento de observarse algas que crecen dentro del sedimentador, las cuales se retiran, así como hojas que caen de los árboles cercanos, que pueden obstaculizar la funcionalidad del filtro.

## **2.5. Determinación de número de muestras**

Para determinar la carga bacteriana en el aire, de las tres etapas del sistema de tratamiento en estudio presentan una probabilidad mayor de 0.50 (50 %) de estar contaminada por bacterias, se hará una prueba de hipótesis binomial:

**Tabla 4.**

*Resultados de prueba de hipótesis binomial*

Ho	p	(La presencia de bacterias contaminantes es un
:	=0.50	evento aleatorio)
Ha	p	(La presencia de bacterias contaminantes no es un
:	> 0.50	evento aleatorio)

*Nota.* Resultados de prueba. Elaboración propia, realizado con Excel.

Si el evento no es aleatorio, significa que la contaminación por bacterias se da en más del 50 % de las veces y que, por lo tanto, es un riesgo.

En este caso se justifica que 7 muestras son suficientes para que con un hallazgo positivo (presencia de bacterias contaminantes) se rechace Ho a un nivel de significancia de 0.05.

## **2.6 Proceso de toma de muestras**

Se realizó la toma de muestras en la caja toma de muestras y sistema de tratamiento de la PTAR ubicada en la zona 10 de la ciudad de Guatemala y en el canal sedimentador, sedimentador primario y sedimentador secundario de la PTAR piloto de ERIS ubicada en la colonia Aurora II zona 13 de la ciudad de Guatemala

Para realizar método biológico pasivo, se implementaron cajas Petri esterilizadas para que capturen la carga biológica de bacterias de forma directa presentes en el ambiente de cada unidad en estudio.

Para realizar la toma de muestras, se expuso en cada punto de muestreo una caja Petri durante 7 días, colocando la caja Petri con el medio de cultivo expuesto a la intemperie durante un tiempo de 30 minutos, con el objetivo de tomar la cantidad de bacterias presentes en el ambiente durante este tiempo determinado.

Se tomaron muestras en tres puntos de la PTAR de ERIS ubicada en la Colonia Aurora II de la zona 13 de la Ciudad de Guatemala. Se expuso una caja Petri por un lapso de 30 minutos en el canal sedimentador, filtro percolador y sedimentador secundario durante 7 días.

Se dejó cada muestra en sitio durante 24 horas para no alterar las condiciones ambientales, luego de este tiempo se hace el conteo de bacterias y se trasladaron al laboratorio.

Para determinar el grado de contaminación con base a la cantidad de colonias de bacterias detectadas en el aire en los puntos de muestreo en los dos sistemas de tratamiento, se tomaron los parámetros indicados por la Asociación Instituto Técnico de Prevención ITP de la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el trabajo CEC.



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados planta de tratamiento de lodos activados, sistema confinado

A continuación, se presentan los resultados.

**Tabla 5.**

*Conteo de colonias de bacterias en planta de tratamiento de lodos activados*

<b>Número muestra</b>	<b>de Trampa de grasas (U.F.C)</b>	<b>Tratamiento de Lodos activados (U.F.C)</b>
1	49	21
2	128	19
3	167	24
4	12	11
5	18	30
6	26	18
7	89	22

*Nota.* Resultados obtenidos. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 6.**

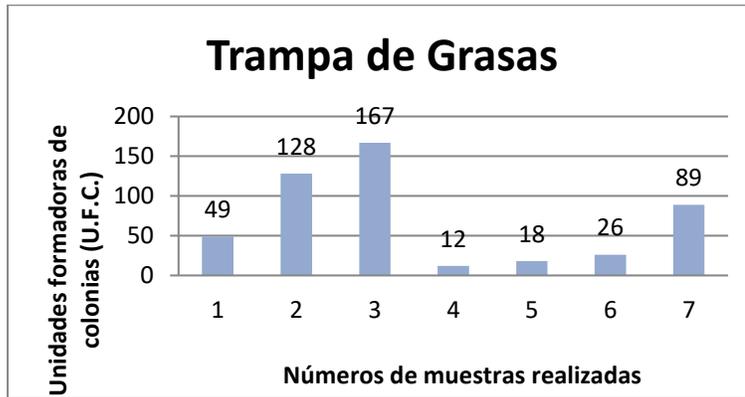
*Promedio y desviación estándar*

<b>Unidad</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>Trampa de Grasas</b>	70	56
<b>Sistema de Tratamiento de Lodos Activados</b>	21	5

*Nota.* Promedio y desviación de trampa de grasas y tratamiento de lodos activados Elaboración propia, realizada con Excel.

**Figura 7.**

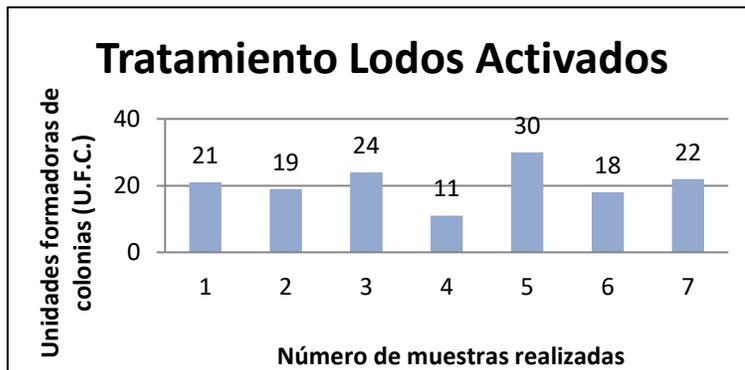
*Conteo de colonias de bacterias*



*Nota.* Conteo de colonia de bacterias en trampa de grasas de planta de tratamiento de lodos activados Elaboración propia, realizado con Word.

**Figura 8.**

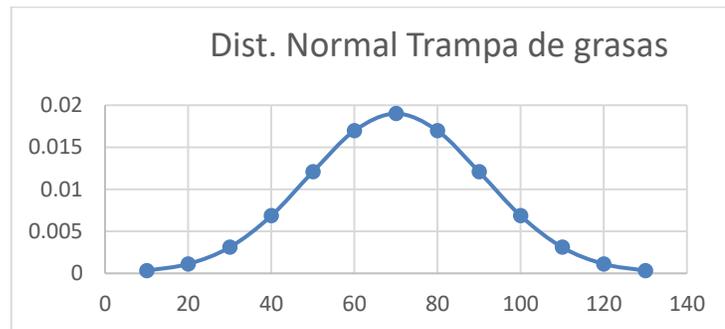
*Conteo de colonias de bacterias en tratamiento*



*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en tratamiento de planta de tratamiento de lodos activados. Elaboración propia, realizado con Word.

**Figura 9.**

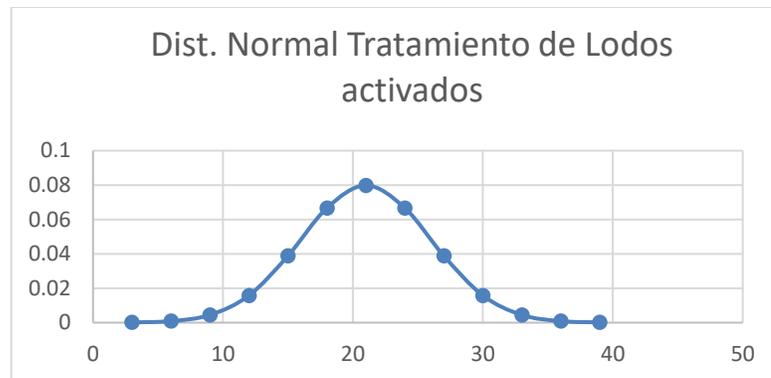
*Distribución normal trampa de grasas, planta de tratamiento confinada*



*Nota.* Gáfica de la distribución normal. Elaboración propia, realizada con Word.

**Figura 10.**

*Distribución normal de tratamiento de lodos activados, planta de tratamiento*



*Nota.* Planta de distribución normal confinada Elaboración propia, realizado con Word.

**Tabla 7.***Conteo de colonias de bacterias en trampa de grasa de planta de tratamiento*

<b>No.</b>	<b>(U.F.C.) en Trampa de Grasa</b>	<b>Número de (U.F.C.) según ITP</b>	<b>Carga biológica</b>
1	49	>28	Contaminación microbiana muy alta
2	128	>28	Contaminación microbiana muy alta
3	167	>28	Contaminación microbiana muy alta
4	12	$4 < x < 13$	Contaminación microbiana media
5	18	$13 < x < 28$	Contaminación microbiana alta
6	26	$13 < x < 28$	Contaminación microbiana alta
7	89	>28	Contaminación microbiana muy alta

*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en de lodos activados. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 8.***Conteo de colonias de bacterias en unidad de tratamiento de lodos activados*

<b>No.</b>	<b>(UFC) en Tratamiento lodos activados</b>	<b>Número de (UF. según ITP</b>	<b>Carga biológica</b>
1	21	$13 < x < 28$	Contaminación microbiana alta
2	19	$13 < x < 28$	Contaminación microbiana alta
3	24	$13 < x < 28$	Contaminación microbiana alta
4	11	$4 < x < 13$	Contaminación microbiana media
5	30	>28	Contaminación microbiana muy alta
6	18	$13 < x < 28$	Contaminación microbiana alta
7	22	$13 < x < 28$	Contaminación microbiana alta

*Nota.* Conteo realizado. Elaboración propia, realizado con Excel.

### 3.2. Resultados planta piloto Eris Aurora II, sistema no confinado

En la siguiente tabla se presentan los resultados.

**Tabla 9.**

*Conteo de colonias de bacterias en planta de tratamiento piloto ERIS*

Número de muestra	Canal sedimentador (U.F.C)	Filtro Percolador (U.F.C)	Sedimentador secundario (U.F.C)
1	33	31	279
2	25	34	30
3	38	47	154
4	15	29	90
5	82	27	63
6	20	10	170
7	15	22	96

*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en planta de tratamiento planta piloto ERIS Aurora II. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 10.**

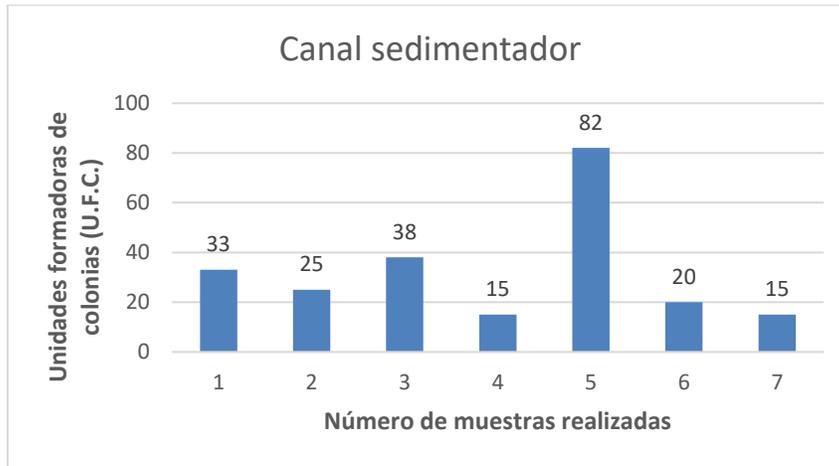
*Promedio y desviación estándar de trampa de grasas*

Unidad	Promedio	Desviación Estándar
<b>Canal sedimentador</b>	33	22
<b>Filtro Percolador</b>	29	10
<b>Sedimentador secundario</b>	126	77

*Nota.* Promedio y desviación estándar de trampa de grasas. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Figura 11.**

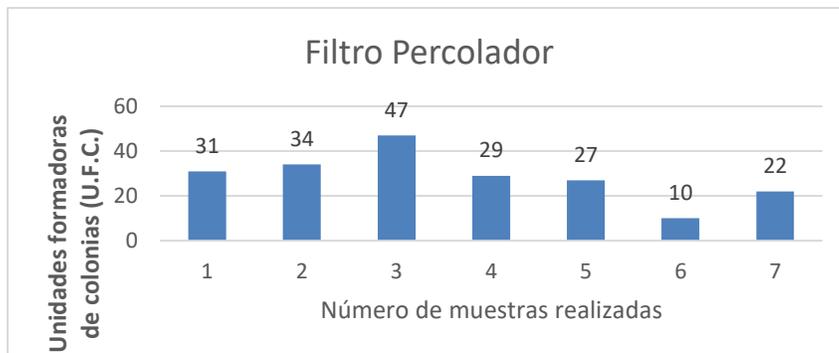
*Conteo de colonias de bacterias en canal sedimentador*



*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en canal sedimentador de planta de tratamiento Planta Piloto ERIS Aurora II Elaboración propia, realizado con Word.

**Figura 12.**

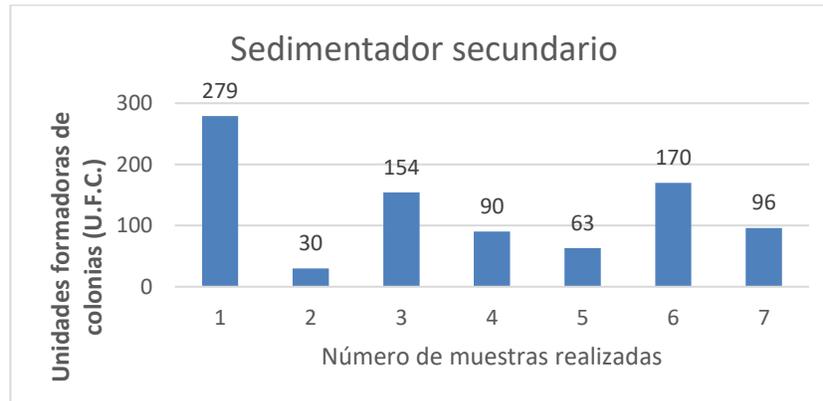
*Conteo de colonias de bacterias en filtro percolador*



*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en filtro percolador de planta de tratamiento Planta Piloto ERIS Aurora II. Elaboración propia, realizado con Word.

**Figura 13.**

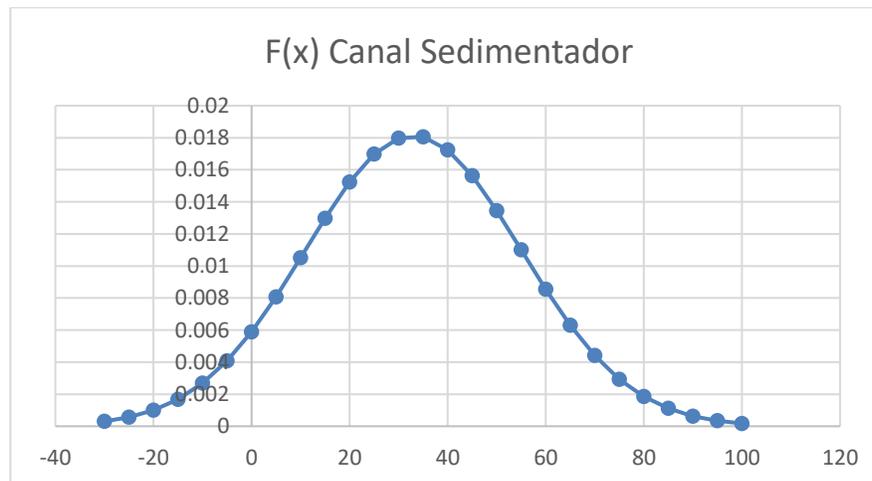
*Conteo de colonias de bacterias en sedimentador secundario*



*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en sedimentador secundario de planta de tratamiento Planta Piloto ERIS Aurora II. Elaboración propia, realizado con Word.

**Figura 14.**

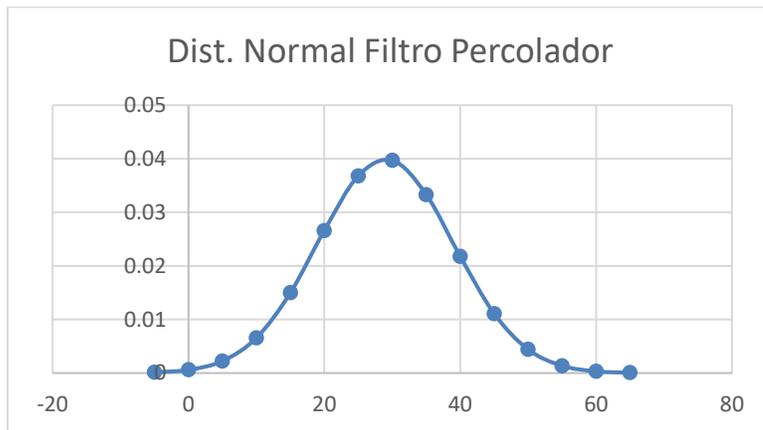
*Gráfica de distribución normal canal sedimentador planta piloto*



*Nota.* Gráfica de Distribución Normal Canal Sedimentador Planta Piloto ERIS USAC Colonia Aurora II Elaboración propia, realizado con Word.

**Figura 15.**

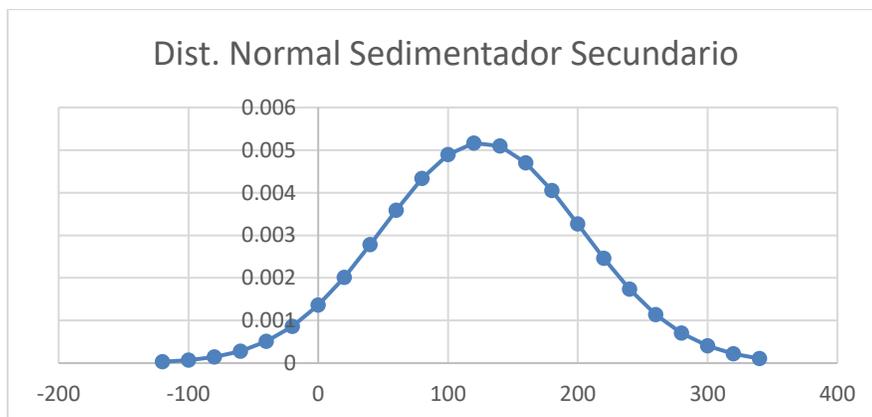
*Gráfica de distribución normal filtro percolador planta piloto ERIS USAC*



*Nota.* Gráfica de Distribución Normal Filtro Percolador Planta Piloto ERIS USAC Colonia Aurora II. Elaboración propia, realizado con Word.

**Figura 16.**

*Gráfica de distribución normal sedimentador secundario planta piloto ERIS*



*Nota.* Gráfica de Distribución Normal Sedimentador Secundario Planta Piloto ERIS USAC Aurora II. Elaboración propia, realizado con Word.

**Tabla 11.***Conteo de colonias de bacterias en canal sedimentador de planta piloto*

<b>No.</b>	<b>(U.F.C.) en canal sedimentador</b>	<b>Número de (U.F.C) según ITP</b>	<b>Carga biológica</b>
1	33	>28	Contaminación microbiana muy alta
2	25	13 < x < 28	Contaminación microbiana alta
3	38	>28	Contaminación microbiana muy alta
4	15	4 < x < 13	Contaminación microbiana media
5	82	> 28	Contaminación microbiana muy alta
6	20	13 < x < 28	Contaminación microbiana alta
7	15	4 < x < 13	Contaminación microbiana media

*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en canal sedimentador de planta piloto ERIS USAC. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 12.***Conteo de colonias de bacterias en filtro percolador de planta piloto*

<b>No.</b>	<b>(U.F.C.) en Filtro Percolador</b>	<b>Número de (U.F.C) según ITP</b>	<b>Carga biológica</b>
1	31	>28	Contaminación microbiana muy alta
2	34	>28	Contaminación microbiana muy alta
3	47	>28	Contaminación microbiana muy alta
4	29	>28	Contaminación microbiana muy alta
5	27	13 < x < 28	Contaminación microbiana alta
6	10	4 < x < 13	Contaminación microbiana media
7	22	13 < x < 28	Contaminación microbiana alta

*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en filtro percolador de planta piloto ERIS USAC. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 13.**

*Conteo de colonias de bacterias en seimentador secundario de planta piloto*

<b>No.</b>	<b>(U.F.C.) Sedimentador secundario</b>	<b>€ Número (U.F.C.) segi ITP</b>	<b>€ Carga biológica</b>
<b>1</b>	279	>28	Contaminación microbiana muy alta
<b>2</b>	30	>28	Contaminación microbiana muy alta
<b>3</b>	154	>28	Contaminación microbiana muy alta
<b>4</b>	90	>28	Contaminación microbiana muy alta
<b>5</b>	63	>28	Contaminación microbiana muy alta
<b>6</b>	170	>28	Contaminación microbiana muy alta
<b>7</b>	96	>28	Contaminación microbiana muy alta

*Nota.* Conteo de colonias de bacterias en sedimentador secundario de planta piloto ERIS USAC.

Elaboración propia, realizado con Excel.

## **4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Sistema de tratamiento de lodos activados ubicado en la zona 10 de la Ciudad de Guatemala**

De acuerdo con los datos obtenidos, se observa que la unidad de trampa de grasas posee una carga biológica microbiana muy alta al encontrarse en un parámetro  $>$  a 28 UFC (ver Tabla 5).

Se observó que el operador del sistema de tratamiento realizó trabajos de limpieza en la trampa de grasa cada 3 días lo cual afectó a la cantidad de bacterias observada en los resultados, luego durante los 3 días posteriores, se pudo observar que la cantidad de bacterias iba creciendo nuevamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la unidad de tratamiento de lodos activados, el número de unidades formadoras de colonias (UFC) se encontró en el parámetro entre 13 a 28 unidades formadoras de colonias (UFC) se considera como una carga biológica microbiana alta (ver Tabla 6).

En esta unidad el operador de la planta de tratamiento realizó una limpieza una vez al día del sistema y genera una contaminación microbiana menor a la observada en la trampa de grasa.

#### **4.2. Sistema de tratamiento de la planta piloto ERIS ubicada en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala**

De acuerdo con los resultados obtenidos en la canal sedimentador o sedimentador primario, el número de Unidades Formadoras de Colonias (U.F.C.) se considera que el canal sedimentador posee una carga biológica microbiana muy alta al encontrarse en un parámetro  $>$  a 28 U.F.C. (ver Tabla 7)

Cabe mencionar que el operador realiza una limpieza cada 24 horas en el canal sedimentador, removiendo los lodos que van subiendo a la superficie, con el fin de procurar que el sistema trabaje constantemente evitando obstrucciones y así poder continuar su proceso hacia los filtros percoladores.

En la unidad correspondiente al filtro percolador, se observó que la carga biológica de acuerdo con el número de colonias se consideró como una carga biológica microbiana muy alta al tener un parámetro  $>$  a 28 UFC (ver Tabla 8).

Se observó que el operador de la planta de tratamiento realizó una limpieza periódica de la salida de los filtros percoladores, debido a que, con el paso de los días, van creciendo algas, las cuales van obstruyendo el sistema, e impiden que el sistema trabaje correctamente.

En la unidad correspondiente al sedimentador secundario, se observó que la carga biológica de acuerdo con el número de colonias se consideró como una carga biológica microbiana muy alta al tener un parámetro  $>$  a 28 UFC (ver Tabla 9).

El operador realiza una limpieza diaria en los canales que componen el sedimentador, con el propósito de retirar objetos extraños y algas que van

creciendo en el lecho del sedimentador, con el propósito que el mismo trabaje correctamente y no sufra de obstrucciones.

#### **4.3. Comparación de resultados entre planta de tratamiento confinada ubicada en zona 10 y planta de tratamiento ERIS ubicada en zona 13 de la Ciudad de Guatemala**

De acuerdo con los datos obtenidos en ambas plantas de tratamiento de aguas residuales, se puede determinar que no hay una diferencia significativa de los resultados, sin embargo, ambos sistemas indican que poseen una carga biológica alta, al encontrarse una cantidad mayor de 29 unidades formadoras de colonias (UFC) en cada una de las unidades donde se realizó el estudio en ambos sistemas de tratamiento.

Se observó durante la realización de la investigación, que los trabajos de operación en la planta de tratamiento confinada se realizan con más frecuencia y son más estrictos sus controles, por lo que la cantidad de bacterias presentes es muy similar a comparación de la planta piloto ERIS que se encuentra en condiciones normales de ambiente.



## CONCLUSIONES

1. Se comprobó la hipótesis se determina que cada sistema de tratamiento se supera las 24 UFC, lo que indica alta carga bacteriológica, que puede afectar la salud de los operadores de los sistemas mencionados.
2. Realizar un muestreo biológico pasivo utilizando un medio de cultivo por medio de cajas Petri es una técnica rápida y que no necesita de un equipo complejo para determinar la carga bacteriológica en un ambiente determinado.
3. Los operadores de las plantas de tratamiento estén expuestos a cargas biológicas que superan las 29 unidades formadoras de colonias (UFC) por lo que se considera una carga contaminante muy alta.
4. En las actividades de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento no toman en cuenta la salud ocupacional de los trabajadores, esto es debido en parte a la ausencia de normativa.
5. Es muy difícil o imposible eliminar la presencia de agentes biológicos en el ambiente, a menos que se trate de un ambiente estéril, en este caso se debe mitigar lo posible con buenas prácticas de asepsia y antisepsia.
6. Debido a que los trabajadores se encuentran expuestos a este tipo de riesgos, la ropa de trabajo es el principal elemento en encontrarse en contacto con los agentes biológicos.

7. Se observó que la cantidad de bacterias al realizar labores más frecuentes de operación y mantenimiento ayuda a disminuir la carga biológica considerablemente, por lo que es necesario contar con un manual de operación y mantenimiento que cuente con descripción de la actividad y frecuencia con que deben realizarse los trabajos de limpieza para tener un control de saneamiento en cada etapa.

## RECOMENDACIONES

1. Al momento de realizar este tipo de método pasivo, se recomienda tomar en cuenta la temperatura presente en el sistema de tratamiento en estudio, debido a que si la temperatura es menor a los 25 °C el tiempo de incubación podrá ser de 5 o 6 días, en cuyo caso los resultados no aparecerán hasta transcurrido este tiempo.
2. Para futuros trabajos de investigación, contar con equipos activos que sean capaces de obtener mejores resultados.
3. Capacitar a los operadores de las plantas de tratamiento, con el fin que puedan entender y estar enterados de los riesgos bacteriológicos a los que se exponen y como pueden evitarlos, de manera que no les causen problemas de salud en el futuro.
4. Las actividades de operación y mantenimiento deben considerar la protección personal del trabajador y las normas de salud y seguridad del trabajador.



## REFERENCIAS

- ACGIH, D. S. (2022). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. <https://www.acgih.org/science/tlv-bei-guidelines/tlv-chemical-substances-introduction/>
- Agencia Europea para la Salud y Seguridad en el Trabajo. (2024). *Página oficial*. <https://osha.europa.eu/es/about-eu-osha/what-we-do/mission-and-vision>
- Arias, A., (2024). *Sistemas descentralizados como estrategia combinada de tratamiento de aguas residuales y recuperación de recursos*. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Santiago de Compostela.
- Coulson Valdivia, G. (2023). Riesgos biológicos asociados a las condiciones laborales en el personal que labora en el laboratorio clínico Biomedic, en la ciudad de Granada Nicaragua, enero 2023. *Revista Científica Esteli*. 12 (47) 23-57. <https://camjol.info/index.php/FAREM/article/view/16855>
- Crook, P. B. (1988). *Plantas de compostaje de residuos domésticos como fuente de microorganismos transportados por el aire*. En *Aerosoles: su generación, comportamiento y aplicación*. Aerosol Society.
- Duncan, M. D. (1974). *Bacteriology for Sanitary Engineers*. Churchill Livingstone.

Hernández Calleja, A. (2001). *Agentes biológicos: Planificación de la medición*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Instituto Técnico de Prevención [ITP] (2024). *Más de 200 técnicos se dan cita en el II Congreso Nacional de Higiene Industrial y Medioambiental* [Publicación PT ITP 7.pub](#)

Solís Cajas, E. R. (2011). *Estudio micológico del aire en áreas ocupacionales y exteriores del laboratorio de investigación en productos naturales ubicados en el edificio T-10 en la Ciudad Universitaria en zona 12 y el laboratorio ubicado en la zona 1 del centro de información y asesoría toxicológica de la Facultad de Ciencias y Farmacia*. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06\\_3102.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3102.pdf)

Valenzuela Bravo, M. T. (2020). *Procedimiento muestreo microbiológico en el aire*. Instituto de Salud Pública de Chile. [13.https://www.ispch.cl/sites/default/files/documento\\_tecnico/2011/01/Muestreo%20Microbiol%C3%B3gico%20de%20Aire.pdf](https://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2011/01/Muestreo%20Microbiol%C3%B3gico%20de%20Aire.pdf)

## APÉNDICES

### Apéndice 1.

*Toma de muestras realizadas*



*Nota.* Toma de muestras realizadas en Planta de Tratamiento de Lodos Activados (confinada) ubicada en la zona 10 de la Ciudad de Guatemala. Elaboración propia.

## Apéndice 2.

### *Obtención de colonias de bacterias*



*Nota.* Obtención de colonias de bacterias por medio del método biológico pasivo en Trampa de Grasa de Planta de Tratamiento de Lodos Activados (confinada) ubicada en la zona 10 de la Ciudad de Guatemala. Elaboración propia.

## Apéndice 3.

### *Toma de muestras realizadas en canal sedimentador de planta piloto*



*Nota.* Toma de muestras realizadas en Canal Sedimentador de Planta Piloto ERIS-USAC Aurora II ubicada en la zona 13 de la ciudad de Guatemala. Elaboración propia.

#### **Apéndice 4.**

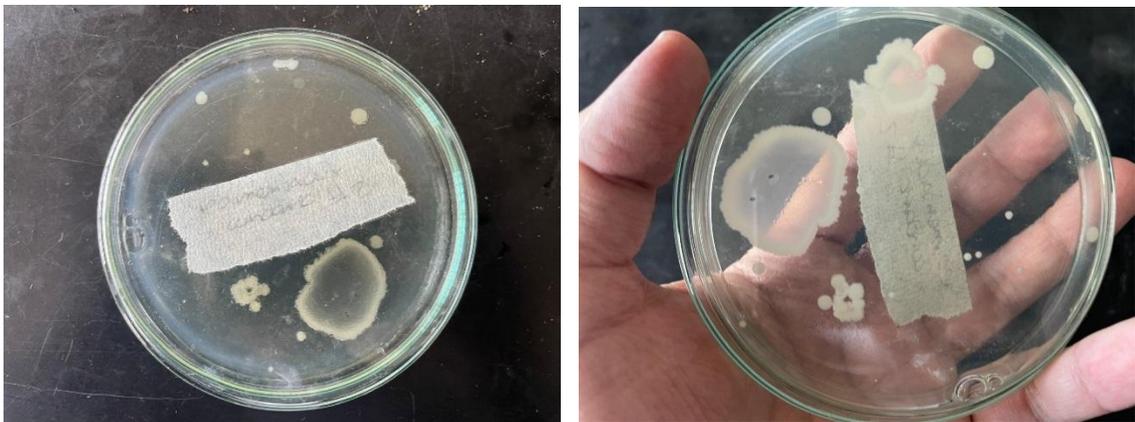
*Toma de muestras realizadas en Filtro Percolador de Planta Piloto*



*Nota.* Toma de muestras realizadas en Filtro Percolador de Planta Piloto ERIS-USAC Aurora II ubicada en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala. Elaboración propia.

#### **Apéndice 4.**

*Obtención de colonias de bacterias por medio del método biológico pasivo*



*Nota.* Obtención de colonias de bacterias por medio del método biológico pasivo en etapa de Sedimentador Secundario de Planta de Planta Piloto ERIS-USAC Aurora II ubicada en la zona 13 de la Ciudad de Guatemala. Elaboración propia.

