



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PROCESO,
ECONÓMICA Y LEGAL (AG 236-2006) DE UN ACTIVADOR BIOLÓGICO SÓLIDO PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA ALDEA LOS JOCOTES SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ**

Josué Saim Matheu García

Asesorado por el MSc. Inga. Flor de María Solórzano Mondragón

Guatemala, julio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PROCESO,
ECONÓMICA Y LEGAL (AG 236-2006) DE UN ACTIVADOR BIOLÓGICO SÓLIDO PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA ALDEA LOS JOCOTES SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSUÉ SAIM MATHEU GARCÍA

ASESORADO POR EL MSC. INGA. FLOR DE MARÍA SOLÓRZANO
MONDRAGÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JULIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| VOCAL V | Br. Carlos Enrique Gómez Donis |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio |
| EXAMINADOR | Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval |
| EXAMINADORA | Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira de Rossal |
| 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 DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PROCESO,
ECONÓMICA Y LEGAL (AG 236-2006) DE UN ACTIVADOR BIOLÓGICO SÓLIDO PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DE LA ALDEA LOS JOCOTES SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 24 de octubre de 2015.



Josué Saim Matheu García



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

ADSE-MEAPP-007-2017

Guatemala, 24 de marzo de 2017.

Director
Carlos Salvador Wong
Escuela de Ingeniería Química
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 **Josué Saim Matheu García** carné número **2007-15204**, quien opto 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. Flor de Maria Solorzano
Ingeniería civil y Sanitaria, Col. 9419

MSc. Inga. Flor de María Solórzano M.
Asesor (a)

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes M.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



Ref.EIQ.TG.017.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **JOSUÉ SAIM MATHEU GARCÍA**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **“DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PROCESO, ECONÓMICA Y LEGAL (AG 236-2006) DE UN ACTIVADOR BIOLÓGICO SÓLIDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ALDEA LOS JOCOTES SAN JERÓNIMO, BAJA VERAPAZ”**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Salvador Wong Davi
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Guatemala, julio de 2018

Cc: Archivo
 CSWD/ale





DTG. 252.2018

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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE PROCESO, ECONÓMICA Y LEGAL (AG 236-2006) DE UN ACTIVADOR BIOLÓGICO SÓLIDO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA ALDEA LOS JOCOTES SAN JERÓNIMO, BAJA VEPARAZ**, presentado el estudiante universitario: **Josué Saim Matheu García**, 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, julio de 2018

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Papá Dios

Por su paciencia, inmenso amor, oportunidad y esperanza de vida, sabiduría e inteligencia puesta en mí para concluir con éxito esta meta profesional.

Mis abuelos

Camilo García, María Rivera, Feliciano Matheu y Ana López que se encuentran al lado de Papá Dios, por ser ejemplo de perseverancia, esfuerzo y emprendimiento para mi vida. Se les extraña, un abrazo al cielo.

Mis padres

Nehemías Matheu y Gloria García, por su incondicional amor, bondad, apoyo en el desarrollo de mi vida espiritual, personal y profesional. Por su valentía, ser el ejemplo a seguir en todos los aspectos de mi vida y sus consejos sabios, les amo mucho.

Mis tíos

Por sus consejos y cariño brindado desde el vientre de mi madre. Por sus atenciones al compartir juntos.

Mis hermanos

Jared, Estuardo, Nidia, Daniel, Hugo y Nehemías por su incondicional apoyo,

confianza y amor demostrado en cada etapa de mi vida, les amo mucho. Tino por ser mi ángel de la guarda, Papá Dios te tenga en su gloria, hasta pronto hermano.

Mis primos

Por todas la vivencias, cariño al compartir conmigo. Por la oportunidad de ser parte de su familia.

Mis sobrinos

Diego, Christian, Luis Daniel, Alejandro, Samuel, Andrés, Aarón, Sariah, Ángel, Ricardo, Javier, Jared, Mishelle, Saim, Camila, Isabella y pendientes, por su luz, alegría y amor desde que nacieron. Por ser mi mayor motivo de vivir, y continuar triunfando en la vida para ser su ejemplo a seguir. Les amo mucho, cuenta con un amigo y tío en cualquier situación de su vida.

**Mi cuñado y
cuñadas**

Por su cariño y apoyo brindado. En especial a mi padrino por la confianza y amistad. Leslie López por tu cariño sin importar las circunstancias.

Mis amigos

Del colegio, en especial José Sosa, Sergio Suchite, Pablo Gil, Roberto Gutiérrez, Helen Morales e Irene Estrada. De la colonia, Luis Estrada, Juan Díaz, Jorge Montenegro, Jasson Méndez y Debbie Ramazzini, por ser como mis

hermanos, cariño, apoyo brindado y experiencias compartidas en esta vida.

Personas especiales

Familia Cajas, por los momentos compartidos y confianza. En especial Sara Cajas, por tu amor y apoyo incondicional para culminar con éxito este logro, te amo mucho. Amigos de la risa, por las sonrisas y abrazos sinceros desde el momento que nos conocimos al ayudar a otros.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|---|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por toda la formación profesional adquirida a través de los catedráticos y convertirse en mi casa de estudios y alma mater. Por su enfoque ético y social para mi desempeño profesional. |
| Catedráticos de la Escuela de Ingeniería Química | Por compartir su conocimiento sin celo alguno, convertir nuestra escuela de excelencia y exigimos a dar lo mejor en nuestra formación académica. |
| Colegio Viena | Por ser mi esencia de formación, la base para adquirir mis conocimientos futuros. |
| Casas de Trabajo | Comdalsa/Cadore, Ingenio Trinidad y Alkemy, por creer en mi nivel académico y darme la oportunidad de incrementar mis conocimientos y crecer profesionalmente en cada área donde me he desempeñado entregando lo mejor. |
| Mi asesor | MSc. Inga. Flor Solórzano, por brindarme su tiempo, dedicación y paciencia para realizar esta investigación. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| HIPÓTESIS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| | |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 5 |
| | |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 7 |
| | |
| 4. ALCANCES | 9 |
| | |
| 5. MARCO TEÓRICO..... | 11 |
| 5.1. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales | 13 |
| 5.1.1. Características físicas | 13 |
| 5.1.1.1. Olor | 13 |
| 5.1.1.2. Color..... | 14 |
| 5.1.1.3. Temperatura..... | 15 |
| 5.1.2. Características químicas..... | 16 |
| 5.1.2.1. Potencial de hidrógeno..... | 16 |

| | | |
|------------|---|----|
| 5.1.2.2. | Materia orgánica | 16 |
| 5.1.2.2.1. | Grasas y aceites | 17 |
| 5.1.2.2.2. | Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | 17 |
| 5.1.2.2.3. | Demanda química de oxígeno (DQO)..... | 18 |
| 5.2. | Tratamiento de aguas residuales | 18 |
| 5.2.1. | Tratamiento preliminar..... | 20 |
| 5.2.2. | Tratamiento primario..... | 21 |
| 5.2.3. | Tratamiento secundario | 23 |
| 5.2.4. | Tratamiento terciario..... | 25 |
| 5.3. | Activadores biológicos..... | 29 |
| 5.3.1. | Efecto de la aplicación de activadores biológicos en una planta de tratamiento de aguas residuales | 29 |
| 5.4. | Geografía de Aldea Los Jocotes San Jerónimo, Baja Verapaz | 30 |
| 6. | PROPUESTA DE ÍNDICES | 33 |
| 7. | METODOLOGÍA | 35 |
| 7.1. | Fase 1: definición del plan de muestreo | 35 |
| 7.1.1. | Tipo de muestreo..... | 35 |
| 7.1.1.1. | Muestreo simple..... | 36 |
| 7.1.2. | Número de muestras | 36 |
| 7.2. | Fase 2: tratamiento con activador biológico | 41 |
| 7.2.1. | Preparar el activador biológico sólido | 41 |
| 7.2.2. | Toma de muestra para evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos | 42 |
| 7.3. | Fase 3: recopilación de la información | 43 |

| | |
|--|----|
| 7.3.1. Tabular resultado de muestras utilizando activador biológico sólido | 43 |
| 7.4. Fase 4: discusión de resultados | 43 |
| 8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN | 45 |
| 8.1. Medida de porcentaje de remoción..... | 45 |
| 8.2. Medidas de tendencia central y dispersión | 45 |
| 8.2.1. Recopilación de la información | 46 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 49 |
| APÉNDICES | 53 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | |
|--|----|
| 1. Esquema de planta de tratamiento de aguas residuales..... | 19 |
| 2. Pozo de excedencias | 20 |
| 3. Canal de rejillas..... | 21 |
| 4. Desarenador..... | 22 |
| 5. Tanque anaeróbico | 24 |
| 6. Segundo tanque colector | 24 |
| 7. Humedal artificial... .. | 26 |
| 8. Filtro de carbón activado | 27 |
| 9. Mapa esquemático de las cuencas de Baja Verapaz..... | 31 |
| 10. Determinación de número de muestras | 37 |

TABLAS

| | |
|---|----|
| I. Compuestos olorosos asociados al agua residual | 14 |
| II. Condición general del agua residual | 15 |
| III. Tipo de tratamiento | 19 |
| IV. Eliminación de constituyentes por medio de operaciones y procesos de tratamiento avanzados..... | 28 |
| V. Promedio desviación estándar y nivel de confianza..... | 38 |
| VI. Medición de pH y temperatura | 42 |
| VII. Valores de análisis utilizando activador biológico sólido | 43 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-------------------|-------------------------------|
| °C | Grados Celsius |
| cm | Centímetros |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| DQO | Demanda Química de Oxígeno |
| Km | Kilómetros |
| l | Litro |
| m ³ | Metro cúbico |
| m ³ /h | Metro cúbico por hora |
| mg | Miligramo |
| ml | Mililitro |
| pH | Potencial de Hidrógeno |

GLOSARIO

| | |
|--|---|
| Activador biológico sólido | Compuesto sólido conformado de diferentes tipos de microorganismos, las cuales promueven un proceso de fermentación antioxidante para descomponer la materia orgánica y facilitar el equilibrio de la flora microbiana. |
| Acuerdo gubernativo núm. 236-2006 (AG 236-2006) | Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Establece los criterios y requisitos que deben cumplirse, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas. |
| Afluente | El agua captada por un ente generador. |
| Agua tratada | Producto líquido que se obtiene al someter el agua de cualquier sistema de abastecimiento a los tratamientos físicos y químicos necesarios para un fin deseado. |
| Agua residual | Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas. |
| Análisis fisicoquímico | Cuantificación y/o cualificación de las propiedades físicas y químicas de una muestra. |

| | |
|------------------------|--|
| Biotecnología | Tecnología aplicada a los procesos biológicos. |
| Cuerpo Receptor | Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales. |
| Descarga | Aliviar, extraer o eliminar una carga. |
| Dilución | El proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración de un efluente de aguas residuales. |
| Eficiencia | Se refiere a la utilización apropiada de los recursos para obtener un resultado deseado. |
| Efluente | Las aguas residuales descargadas por un ente generador. |
| Estabilización | Reacción química que consiste en romper uno o varios enlaces en el interior de una molécula, dividiendo está en otras más pequeñas dentro de los límites deseados de aceptación. |
| Fuente hídrica | Son todas las corrientes de agua ya sea subterránea o sobre la superficie las cuales son aprovechadas para diferentes fines. |

| | |
|------------------------------|--|
| Impacto ambiental | Es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente. |
| Importado | Acción de adquirir mercancía o cuestiones simbólicas de otra nación. |
| Microorganismo | Diminuto ser vivo que únicamente pueden ser apreciados a través de un microscopio. |
| Planta de tratamiento | Estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente. |
| Patógeno | Agente biológico capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño. |
| Propiedad biológica | Son las propiedades inherentes en la vida o que interactúan con ella o formación de la misma. |
| Propiedad física | Son aquellas que se pueden medir sin que se afecte la composición o identidad de la sustancia. |
| Propiedad química | Composición, característica o estado referente a la estructura y a la transformación de la materia. |
| Residuo | Material que pierde utilidad tras haber cumplido con su misión o servido para realizar un determinado trabajo. |
| Reutilizar | El aprovechamiento de un efluente, tratado o no. |

RESUMEN

En la actualidad se ha optado por implementar la instalación de plantas de tratamiento para adecuar las características físicas, químicas y biológicas de los efluentes debido a la necesidad de reducir el impacto ambiental en las fuentes hídricas. El proceso de estabilización de la materia orgánica se genera de manera natural. Sin embargo, requiere de mayor tiempo para llevarla a cabo.

El trabajo de investigación realizará una evaluación de la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, tomando como referencia los parámetros relacionados a esta; como por ejemplo: grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO).

Así mismo, busca incrementar los conocimientos de las personas dentro de la comunidad que dirige la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales por medio de la experimentación in situ de un activador biológico sólido.

Por esta razón, se determinará: 1) eficiencia de proceso por medio del porcentaje de remoción de materia orgánica al aplicar un activador biológico sólido. 2) eficiencia económica para cuantificar los costos de operación y mantenimiento por medio del kilogramo de grasas y aceites, DBO y DQO removido. 3) eficiencia legal para conocer el cumplimiento legal (AG 236-2006) de Guatemala, de los parámetros relacionados a la materia orgánica.

OBJETIVOS

General

Evaluar la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes San Jerónimo, Baja Verapaz.

Específicos

1. Determinar en el influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales los siguientes parámetros: grasas y aceites, DBO y DQO durante la dosificación de un activador biológico sólido.
2. Determinar el porcentaje de remoción de los siguientes parámetros: grasas y aceites, DBO y DQO de la planta de tratamiento de aguas residuales para determinar la eficiencia del activador biológico sólido.
3. Cuantificar los costos de operación y mantenimiento anual de la planta de tratamiento de aguas residuales con el activador biológico sólido.
4. Determinar la existencia del cumplimiento del Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006.

HIPÓTESIS

Es factible realizar una evaluación de la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Hipótesis nula (H_0):

No es factible realizar una evaluación de la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Hipótesis alternativa (H_a):

Es factible realizar una evaluación de por lo menos la eficiencia de proceso, económica o legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, en la planta de tratamiento de aguas residuales.

INTRODUCCIÓN

Para disminuir el impacto ambiental de las aguas residuales, se ha optado por implementar la instalación de plantas de tratamiento, cuyo objetivo fundamentalmente es adecuar las características físicas, químicas y biológicas de los efluentes para reducir el impacto ambiental en las fuentes hídricas e incluso optar por reutilizarlas en algún proceso productivo. Para establecer los parámetros permitidos de descarga de dichos efluentes, se creó en Guatemala el Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006 para emitir el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

Entre los procesos de tratamiento de las aguas residuales está la estabilización de materia orgánica, el cual se puede generar de manera natural. Sin embargo, requiere de mayor tiempo de residencia, por lo que emana malos olores por tiempos prolongados. Por esta razón, en la actualidad, se utilizan activadores biológicos para acelerar el proceso y aumentar la cantidad de agua residual tratada.

En la planta de tratamiento de aguas residuales donde se llevará a cabo el estudio, por falta de capacidad técnica y económica, no se ha buscado otras alternativas en el tema de activadores biológicos, por lo que es necesario evaluar otras opciones, lo cual proporcionara oportunidad de generar conocimientos mediante experimentación “in situ”.

El presente estudio busca incrementar los conocimientos de las personas dentro de la comunidad que dirige la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo que se evaluará la eficiencia de proceso, económica y

legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, tomando como referencia los parámetros relacionados a esta; como por ejemplo: grasas y aceites, DBO y DQO.

La eficiencia de proceso se determinará por medio del porcentaje de remoción de materia orgánica al aplicar un activador biológico sólido. La eficiencia económica se determinará para cuantificar los costos de operación y mantenimiento por medio del kilogramo de grasas y aceites, DBO y DQO removido. La eficiencia legal se determinará para conocer el cumplimiento legal (AG 236-2006) de Guatemala, según los parámetros relacionados a la materia orgánica.

En el primer capítulo del informe final se desarrollará el marco teórico, donde se definirán las características físicas, químicas, biológicas, así como los tipos de tratamiento y activadores biológicos. El segundo capítulo se refiere al marco metodológico, por lo que se desarrollarán los procedimientos con sus variables respectivas para alcanzar los objetivos específicos planteados. Los resultados obtenidos conformarán el tercer capítulo. En él se dan a conocer los valores obtenidos en las mediciones de los análisis fisicoquímicos del activador biológico sólido, así como la determinación del porcentaje de remoción de materia orgánica. Cuantificación de los costos de operación y mantenimiento por medio del kilogramo de grasas y aceites, DBO y DQO removido, tomando en cuenta la influencia de la cantidad dosificada y precio del activador biológico sólido. Cumplimiento legal de Guatemala (AG 236-2006), según los parámetros relacionados a la materia orgánica. En el cuarto capítulo se desarrollará la discusión de los resultados por medio de la información obtenida en el proceso del trabajo. Los capítulos finalizarán con las conclusiones de cada objetivo planteado.

1. ANTECEDENTES

Se han realizado estudios sobre usos y aplicación de activadores biológicos importados (*Aqua Clean*) en Guatemala. Esto obedece a que el tiempo de descomposición de la materia orgánica se ha prolongado y la emanación de malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales se ha incrementado. La implementación del Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006 busca reglamentar las descargas, reutilización de aguas residuales y disposición de lodos. Por ello, es muy importante utilizar esta alternativa para acelerar el proceso de descomposición, tomando en cuenta el cumplimiento de los parámetros reglamentados para descargar el agua tratada hacia cuerpos de agua.

En 2014 se han implementado proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales, de los cuales la primera planta en operación se encuentra en San Jerónimo, Baja Verapaz. Esta es una planta modelo de tratamiento de aguas residuales en la región norte. La base fundamental de la ejecución del proyecto responde a la concientización del impacto ambiental que reciben los cuerpos de agua (ríos y riachuelos) de la comunidad. La planta piloto ha sido fundamental para llevar a cabo la ejecución de otros proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales en el departamento de Baja Verapaz. Las plantas de tratamiento de aguas residuales, actualmente, operan con un activador biológico importado, dando como resultado: a) una aceleración en la descomposición de la materia orgánica, b) disminución de la emanación de malos olores y c) descargas de aguas residuales tratadas a los cuerpos de agua cumpliendo los límites máximos permisibles de los parámetros reglamentados en Guatemala. Los costos de operación y mantenimiento de la

planta de tratamiento son elevados porque el producto es comercializado en Guatemala por un importador local que lo vende a un precio muy alto. Sin embargo, el uso de un producto alternativo es independiente al estado físico, por lo que únicamente influye la dosis debido a que depende directamente de la capacidad de la planta para llevar a cabo el proceso de descomposición. (Mancovalle, 2014)

En el trabajo de graduación denominado *Optimización del tratamiento, manejo y disposición de los lodos residuales de una industria láctea de la sabana de Bogotá, a través de la incorporación de un bioactivador celular natural*, abordó la incorporación de una biotecnología “Bioactivador celular natural, Bio-Kat” como tecnología limpia para el tratamiento, manejo y disposición de los lodos residuales de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria láctea. Utilizó el proceso de compostaje para la adecuación de este residuo y, posteriormente, comercializarlo. Como resultado se permitió optimizar el proceso de compostaje, obteniendo un residuo de lodo tratado en menor tiempo de degradación, con una reducción de patógenos, aparente disminución en la generación de olores. (López, 2009)

En el desarrollo del trabajo de graduación denominado *Evaluación de los parámetros de proceso para obtener composta por fermentación aerobia acelerada con inyección de aire y la adición de compuestos biológicos*, se realizó en bio-reactores a escala de fermentación aeróbica con inyección de aire, con el objetivo de evaluar la influencia de dos aceleradores sobre el tiempo requerido para la degradación de la materia orgánica y sobre la cantidad del producto final (composta) en términos de parámetros químicos. Se utilizaron los aceleradores ULTRAZYME + BIO-COMPOST de tipo comercial, y lodos activados provenientes de la planta de tratamiento de aguas municipales. El ULTRAZYME contiene cultivos microbianos viables de *Aspergillus niger*,

Aspergillus oryzae y *Bacillus subtilis*, además de granos de cereales solubles y condensados. El BIO-COMPOST es un producto elaborado con ácidos húmicos, combinados con extractos líquidos de *Yucca schidigera* y *Ascophyllum nodosum*. (Castañeda, 2000)

En la elaboración del trabajo de investigación titulado *Tratamiento del agua residual generada en un edificio mediante contactores biológicos rotatorios*, se realizó un análisis y evaluación del funcionamiento del proceso de contactores biológicos rotatorios (CBR). Se consideraron los siguientes parámetros para la evaluación: demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, sólidos totales y sólidos suspendidos totales. La formación de la biopelícula se lleva a cabo en cuatro fases para oxidar y degradar la materia orgánica en el interior. (Lazcano, 2013)

En el trabajo de graduación titulado *Desarrollo de un bioestimulante a base de microalgas y bacterias para el tratamiento de influentes residuales*, se consideran las microalgas como una alternativa de tratamiento terciario, debido a los procesos en conjunto con bacterias con el objetivo de llevar a cabo una eficiente bioconversión de la energía solar en la utilización y eliminación de materia orgánica en generación de biomasa. (Montes, 2010)

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir del 2014 en el departamento de Baja Verapaz se han implementado proyectos de desarrollo rural, tales como plantas de tratamiento de aguas residuales con la cooperación de ONGs y Mancomunidades. La primera planta en operación se encuentra en San Jerónimo, siendo esta una planta modelo en la región norte. Sin embargo, por falta de capacidad técnica y económica para buscar otras alternativas en el tema de activadores biológicos, es necesario evaluar otras opciones, lo cual proporcionara oportunidad de generar conocimientos mediante experimentación “in situ”.

Para resolver esta problemática, la propuesta de trabajo de investigación realizará una evaluación de la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, tomando como referencia los parámetros relacionados a esta; como por ejemplo: grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO).

Para plantear el problema de investigación es necesario formular la pregunta principal:

¿Cuál es la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006 de un activador biológico sólido en la estabilización de materia orgánica en una planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, Baja Verapaz?

Asimismo, responder al planteamiento anterior con las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de grasas y aceite, DBO y DQO de un activador biológico sólido en la estabilización de materia orgánica en una planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, Baja Verapaz?
- ¿Cuál es el costo por kilogramo de grasas y aceites, DBO y DQO removido de un activador biológico sólido en una planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, Baja Verapaz?
- ¿Cuál es el cumplimiento legal de grasas y aceites, DBO y DQO según Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006 al aplicar un activador biológico sólido en una planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, Baja Verapaz?

3. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación a desarrollar corresponde a la línea de investigación de gestión ambiental. Se centra en la gestión y tratamiento del agua debido a que se orienta en tratamientos avanzados del agua por medio de la biotecnología, al estabilizar materia orgánica utilizando un activador biológico.

La implementación del estudio busca incrementar los conocimientos de las personas dentro de la comunidad que dirige la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales por medio de la experimentación in situ de un activador biológico sólido, por lo que se evaluará la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) de un activador biológico sólido para la estabilización de materia orgánica, tomando como referencia los parámetros relacionados a esta; como por ejemplo: grasas y aceites, DBO y DQO.

La eficiencia de proceso se determinará por medio del porcentaje de remoción de materia orgánica al aplicar un activador biológico sólido, en función de: grasas y aceites porque representa la materia orgánica lipídica, DBO representa la materia orgánica biodegradable y DQO representa la materia orgánica química degradable en una planta de tratamiento de aguas residuales. Dicha determinación influenciará en la evaluación de otro activador biológico, sin importar su estado físico; al momento que la comunidad desee compararlo contra el propuesto en este trabajo de investigación.

La eficiencia económica se determinará para cuantificar los costos de operación y mantenimiento por medio del kilogramo de grasas y aceites, DBO y DQO removido, tomando en cuenta la influencia de la cantidad dosificada y

precio del activador biológico sólido. Al cuantificar dicho costo se dará a conocer la influencia de incrementar o disminuir el porcentaje de remoción al estabilizar la materia orgánica, el cual indicara la viabilidad de operación económica de una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad.

La eficiencia legal se determinará para conocer el cumplimiento legal de Guatemala al utilizar un activador biológico sólido, según los parámetros de grasas y aceite, DBO y DQO relacionados a la materia orgánica del Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006.

4. ALCANCES

El trabajo de investigación se llevará a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la Aldea Los Jocotes San Jerónimo, Baja Verapaz. El efluente generado se descarta en el río San Jerónimo, es el único dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, que drena hacia el río Chixoy llegando a la cuenca hidrográfica del río Usumacinta, el cual desemboca en el Golfo de México, por lo que toma importancia el cuidado de esa fuente hídrica.

Se evaluará la utilización de un activador biológico sólido por medio de la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) para generar conocimientos mediante experimentación in situ en la estabilización de materia orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales en mención. Los parámetros relacionados a materia orgánica que se analizarán en el influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales son: grasas y aceites, DBO y DQO. Lo cual permitiera evaluar el porcentaje de remoción de materia orgánica al dosificarse un activador biológico sólido.

Así como determinar la existencia del cumplimiento del Acuerdo Gubernativo núm 236-2006 del efluente generado en una planta de tratamiento de aguas residuales, según límites especificados en el documento legal de Guatemala. El precio de un activador biológico sólido toma relevancia debido a la importancia en la determinación de los costos de operación y mantenimiento por la viabilidad de operación económica, por lo que se contempla generar la oportunidad de negociación del precio con el proveedor para trasladar el beneficio a la comunidad donde se llevara a cabo el trabajo de investigación.

Lo antes mencionado, llevara a evaluar la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) de los escenarios planteados anteriormente en el trabajo de investigación.

5. MARCO TEÓRICO

Cualquier comunidad en el mundo genera residuos líquidos, únicamente variando la cantidad de descarga del efluente emitido por cada comunidad. Su disposición final difiere según el lugar de la comunidad. Se pueden encontrar situadas en el área urbana o rural. Estas aguas se han empleado en diferentes usos, cuyas características difieren de su composición original y no se pueden utilizar para el mismo fin antes de ser tratadas.

Para mitigar su impacto ambiental en Guatemala, se creó el Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006 para emitir el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. En este Reglamento se define como agua residual: “A las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas”, siendo estas de tipo especial y ordinario. Las aguas residuales de tipo especial, se definen como: “Las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de las mismas”, y se definen las aguas residuales de tipo ordinario como: “Las aguas residuales generadas por la actividades domésticas, tales como uso en servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otros similares, así como la mezcla de las mismas, que se conduzcan a través de un alcantarillado”. (Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006)

En el Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006 se considera que: “El estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto

adverso del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico; para lo cual es necesario dictar normas que garanticen la utilización y el aprovechamiento racional de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, evitando su depredación”. El reglamento no indica los métodos para obtener los resultados especificados, por lo tanto, queda a discreción profesional y técnico los procesos convenientes para implementar un tratamiento con sus etapas (pretratamiento, tratamiento primario, secundario, etc.) en una planta de tratamiento de aguas residuales. (Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006)

Las aguas residuales en el área rural, generalmente, son conducidas hacia cuerpos naturales, como ríos y lagos. Esta circunstancia permite que se traslade una carga alta de contaminantes que se acumulan en un punto de baja velocidad, por lo tanto, al descomponerse la materia orgánica presente en el medio acuoso puede promover la generación de gases cuya característica puede ser desagradable por la emisión de malos olores. Al mismo tiempo, es importante mencionar los numerosos microorganismos patógenos presentes, los cuales pueden ser el medio causante de enfermedades gastrointestinales en el ser humano. En el planteamiento para solucionar dicho problema, se requiere que las aguas residuales de la comunidad sean conducidas a cuerpos de aguas receptores antes de ser tratadas. Se deben tener en cuenta los contaminantes que se encuentran en el agua residual, y conocer el nivel deseado para eliminarlos y cumplir con los límites máximos permisibles de los parámetros regulados para garantizar la protección del cuerpo receptor donde sea descargado el efluente final de la planta de tratamiento. (Puyol, 2010)

Antes de describir los procesos disponibles para mejorar la calidad de las aguas residuales, es conveniente revisar las características utilizadas para definir su calidad. Por lo general, algunas de las características son utilizadas

para el control de los procesos de tratamiento para realizar mediciones de forma continua o discreta.

5.1. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales

5.1.1. Características físicas

5.1.1.1. Olor

La determinación de esta característica es organoléptica, de manera subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de medición. (Hammeken & Romero, 2005)

Por lo general, los olores son producidos por los gases emitidos durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El olor característico (huevo podrido) del agua residual se debe al sulfuro de hidrógeno. Se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. (Hammeken & Romero, 2005)

El problema principal que enfrenta la implementación de proyectos relacionados con las plantas de tratamiento de aguas residuales es el rechazo de las comunidades, debido a la emisión de olores. (Hammeken & Romero, 2005)

A continuación se describen algunos de los compuestos que generan olor característico asociado al agua residual:

Tabla I. **Compuestos olorosos asociados al agua residual**

| Compuesto oloroso | Fórmula empírica | Calidad del olor |
|--------------------------------|---|---------------------|
| Aminas | $\text{CH}_3\text{NH}_2, (\text{CH}_3)_3\text{H}$ | Pescado |
| Amoniaco | NH_3 | Amoniacal |
| Diaminas | $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2,$ $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$ | Carne descompuesta |
| Sulfuro de hidrógeno | H_2S | Huevo podrido |
| Mercaptanos (metilo y etilo) | $\text{CH}_3\text{SH}, \text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$ | Coles descompuestas |
| Mercaptanos (butilo y crotilo) | $(\text{CH}_3)_3\text{CSH},$ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{SH}$ | Mofeta |
| Sulfuros orgánicos | $(\text{CH}_3)_2\text{S}, (\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{S}$ | Coles podridas |
| Eskatol | $\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$ | Material fecal |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996.

5.1.1.2. Color

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. El color exclusivo del agua, no se puede atribuir a ningún constituyente presente. Cabe resaltar que ciertos colores en aguas naturales son indicativos de la presencia de algunos contaminantes. (Quintero, 2011)

Por lo general, el agua residual suele tener un color grisáceo. Al aumentar el tiempo de transporte en las redes de canalización hacia la planta de tratamiento, y propiciarse condiciones ligeramente anaerobias, el color del agua residual cambia de grisáceo a grisáceo oscuro, hasta tener finalmente, un color negro. El proceso de formación de dicha coloración se debe a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual. (Quintero, 2011)

A continuación se describen algunos colores característicos asociado al agua residual:

Tabla II. **Condición general del agua residual**

| Color | Descripción |
|---------------------|---|
| Café claro | Aguas que llevan 6 horas después de la descarga. |
| Gris claro | Aguas que han sufrido algún grado de descomposición o que han permanecido un tiempo corto en los sistemas de recolección. |
| Gris oscuro o negro | Aguas sépticas que han sufrido una fuerte descomposición bacterial bajo condiciones anaerobias. |

Fuente: Crites & Tchobanoglous, 2000.

5.1.1.3. Temperatura

La física térmica es la disciplina que estudia la temperatura, transferencia y transformación de la energía. La temperatura es un estado relativo del ambiente, fluido o material referido a un valor patrón definido por el hombre, así como un valor comparativo de uno de los estados de la materia. Por lo que, la temperatura es una característica física que permite asegurar si dos o más sistemas están o no en equilibrio térmico, esto quiere decir que la temperatura es la magnitud física que mide cuan caliente o frío se encuentra un objeto. (Ruiz, 1997)

La velocidad de proceso, así como la presencia o ausencia de los microorganismos biodegradables, como bacterias y hongos, dependen de la temperatura, por lo que se convierte en un factor muy importante de cuantificar. (Castañeda, 2000)

5.1.2. Características químicas

5.1.2.1. Potencial de hidrógeno

Se refiere a la concentración del ion hidrógeno presente en una solución, el potencial de hidrógeno (pH) se determina por medio del logaritmo negativo de la concentración del ion hidrógeno. (Hammeken & Romero, 2005)

Aguas residuales con altas concentraciones de ion hidrógeno, presentan dificultad en tratamientos donde se vea involucrado un proceso biológico. (Hammeken & Romero, 2005)

5.1.2.2. Materia orgánica

La materia orgánica está formada por combinaciones sólidas compuestas de carbono, hidrógeno, oxígeno, en determinadas ocasiones nitrógeno y otros compuestos químicos disueltos o suspendidos. Los principales grupos son: proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites. (Yagnentkovsky, 2011)

Son compuestos sólidos de origen animal, vegetal y compuestos generados por la actividad humana. Por lo general, el agua residual puede contener moléculas orgánica sintéticas (agentes tensoactivos, pesticidas, etc.). (Yagnentkovsky, 2011)

La medida de la concentración de materia orgánica en el agua, puede realizarse por dos métodos. El primer método es empleado para determinar altas concentraciones (mayores a 1 mg/L de materia orgánica), de forma indirecta se obtiene midiendo la capacidad reductora del carbono existente mediante la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) y

demanda bioquímica de oxígeno (DBO), o de forma directa por la medida del carbono orgánico total (COT) mediante técnicas espectrofotométricas. El segundo método es empleado para determinar bajas concentraciones (0,001 a 1 mg/L de materia orgánica), por método de cromatografía de gases y espectroscopia de masa. (Yagnentkovsky, 2011)

5.1.2.2.1. Grasas y aceites

Los lípidos o materias grasas están presentes en las basuras domesticas en formas diversas: trozos de grasa de carnes, animales muertos, aceites, vegetales y de pescado, mantequilla y derivados, cosméticos, ceras. (Castañeda, 2000)

Las grasas y aceites son sustancias de origen animal o vegetal que consisten predominantemente en mezclas de ésteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir, triglicéridos. En general, el término grasa se usa para referirnos a los materiales que son sólidos a temperatura ambiente, mientras que el término aceites se refiere a los que son líquidos en las mismas condiciones. (Castañeda, 2000)

5.1.2.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales. Su determinación está relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos para llevar a cabo el proceso la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable en un periodo de cinco días, a una temperatura de veinte grados Celsius (°C). Cabe resaltar que los resultados obtenidos a distintas temperaturas serán diferentes, debido a que la velocidad

de la reacción bioquímica es función de dicho parámetro. (Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006)

Al descargar la materia orgánica biodegradable al entorno, sin tratar su estabilización biológica, puede provocar un agotamiento de oxígeno en los recursos naturales.

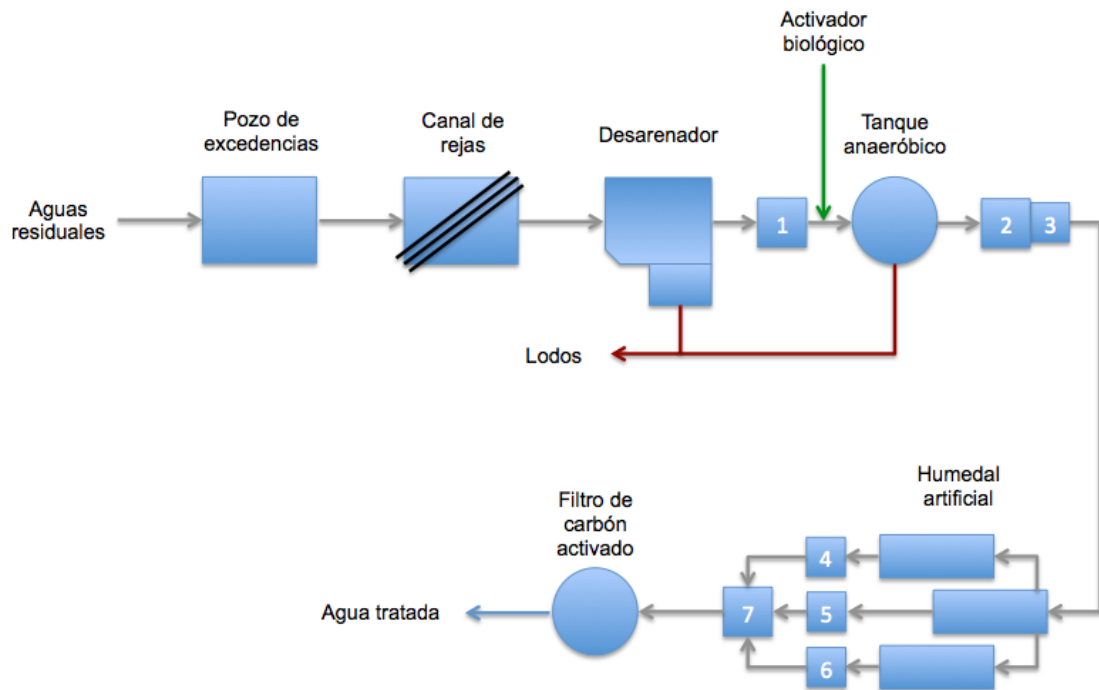
5.1.2.2.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

Es una medida directa del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales. Se determina por la cantidad de oxígeno consumido por agentes químicos como el dicromato potásico de las sustancias reductoras presentes en el agua residual. Se emplea un agente químico altamente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química. (Acuerdo Gubernativo núm. 236-2006)

5.2. Tratamiento de aguas residuales

Para determinar el tratamiento necesario en aguas residuales, se comparan las características del agua residual con los límites sugeridos de parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente correspondiente. Por medio de la especificación de dichos parámetros, se puede determinar la utilización de tratamientos preliminares, primarios, secundarios, terciarios o avanzados. A continuación se muestra el esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales donde se llevara a cabo la investigación:

Figura 1. Esquema de planta de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Elaboración propia.

Tabla III. Tipo de tratamiento

| Tipo de tratamiento | Descripción |
|---------------------|---|
| Preliminar | Pozo de excedencias, canal de rejillas |
| Primario | Desarenador |
| Secundario | Tanque anaeróbico |
| Terciario | Humedal artificial, filtro de carbón activado |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 se denomina tanque colector.

5.2.1. Tratamiento preliminar

Se define como tratamiento preliminar a las unidades que se ubican antes de las estructuras donde se lleva a cabo el tratamiento primario y secundario de la planta de tratamiento. El propósito es eliminar el ingreso de materiales o sustancias que pueden alterar la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento por obstrucción de orificios o azolvamiento de las estructuras. (Calderón, 2014)

En esta investigación, el tratamiento preliminar está integrado por un pozo de excedencias (referenciado en la figura 1), cuyo propósito es determinar el caudal máximo a que fue diseñada la planta de tratamiento. Tiene un volumen de 0.36 m^3 y caudal de $360 \text{ m}^3/\text{h}$ con una tubería de 6 pulgadas al contrario del agua residual que ingresa para descartar el caudal excedente.

Figura 2. **Pozo de excedencias**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes, marzo de 2018.

Luego, pasa a un canal de 2 rejas en serie de mantenimiento manual (rastrillo), para retener desechos sólidos superiores a 1 centímetro de diámetro. El canal de rejas tiene un volumen de 2.87 m³ y caudal de 360 m³/h, la primer reja tiene una separación de 1.5 centímetros entre cada varilla, la segunda reja se encuentra a 2.70 metros de separación de la primera con una separación de 1 centímetro entre cada varilla. Ambas rejas tienen un ancho de 0.58 metros, largo de 0.78 metros y se encuentran posicionadas con una inclinación de 45°.

Figura 3. **Canal de rejas**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes, marzo de 2018.

5.2.2. Tratamiento primario

El propósito del tratamiento primario es eliminar sólidos sedimentables. Se lleva a cabo mediante tamizado y sedimentación. Los sólidos de mayor tamaño se separan por medio de tamizado, canal de rejas o rejillas. Los sólidos de menor tamaño posibles de decantar se separan por medio de desarenadores.

Por lo general, el efluente de dicho tratamiento suele contener una cantidad considerable de materia orgánica, por lo que contiene una demanda bioquímica de oxígeno alta. (Metcalf & Eddy, 1996)

El canal desarenador (referenciado en la figura 1) forma parte del tratamiento primario, el propósito de dicho canal es retener arenas con un diámetro menor o igual a 0.20 milímetros. El canal de rejillas se conecta con el canal desarenador por medio de una tubería de 12 pulgadas de diámetro. La estructura del control de caudal del desarenador es rectangular con un ancho de 0.25 metros, largo de 3.60 metros y volumen de 0.29 m^3 , la estructura del desarenador es parabólico para hacer la retención con un ancho de 0.60 metros, largo de 2.50 metros, volumen de 0.45 m^3 y caudal de $129.60 \text{ m}^3/\text{h}$. Dicha estructura se divide en dos canales con un ancho de 0.22 metros y salida con un ancho de 0.10 metros donde ingresa a un primer tanque colector cuadrado (0.80 x 0.80 metros).

Figura 4. **Desarenador**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes, marzo de 2018.

5.2.3. Tratamiento secundario

El propósito del tratamiento secundario es eliminar compuestos orgánicos biodegradables. Se denomina tratamiento secundario a la combinación de diferentes procesos para la eliminación de dichos compuestos, de los cuales se puede mencionar el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas de lagunas y sedimentación. (Metcalf & Eddy, 1996)

El tanque anaeróbico (referenciado en la figura 1) forma parte del tratamiento secundario, el propósito de dicho tanque es desarrollar un proceso de sedimentación y digestión anaeróbica de los lodos existentes en las aguas residuales. Por lo tanto, por medio de la estabilización de las aguas residuales, separa los sólidos (lodos estabilizados), líquidos (agua tratada) y gases (biogás). Los lodos al deshidratarse pueden utilizarse como material de relleno, abono o acondicionador de suelos en los cultivos cercanos; se debe evitar la extracción excesiva de lodos del fondo, ya que sirve para conservar la fermentación alcalina, debido a la mayor proporción de lodo fresco que ingresa.

El desarenador se conecta con el tanque anaeróbico por medio de una tubería de 12 pulgadas de diámetro, que se encuentra al interior del primer tanque colector. El tanque anaeróbico tiene un ancho de 13.70 metros, largo de 12 metros, volumen de 361.68 m³ y tiempo de retención de 2.80 horas. A la salida se encuentran dos tubos de 10 pulgadas de diámetro, ambos se encuentran posicionados con una inclinación de 45° con respecto al eje horizontal del segundo tanque colector cuadrado con ancho de 0.8 metros y largo de 0.8 metros (referenciado en la figura 6). Seguido se encuentra un tercer tanque colector cuadrado (0.55 x 0.55 metros), el cual descarga en un tubo de 8 pulgadas de diámetro al tratamiento terciario.

Figura 5. Tanque anaeróbico



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes, marzo de 2018.

Figura 6. Segundo tanque colector



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes, marzo de 2018.

5.2.4. Tratamiento terciario

El propósito del tratamiento terciario es eliminar nutrientes (nitratos y fosfatos) y/o compuestos tóxicos de las aguas residuales, por medio de: coagulación química, floculación filtrando el sedimento, filtro de carbón activado, y de tal manera obtener un efluente de alta calidad para ser reutilizado. La planta en estudio utiliza humedal artificial con algas y filtro de carbón activado (referenciado en la figura 1). (Espinoza, 2010)

El humedal tiene el propósito de funcionar como filtro biológico, que se debe mantener libre de malezas para que la operación sea adecuada. El primer humedal es cuadrado (5.30 x 5.30 metros) con un volumen de 23.88 m³, el volumen excedente se distribuye por medio de tubería de 5 pulgadas de diámetro a un segundo humedal con un volumen de 20.70 m³ y tercer humedal con un volumen de 52.50 m³. Cada humedal descarga independientemente por medio de tubería de 4 pulgadas de diámetro a su tanque colector, denominados como: cuarto, quinto y sexto respectivamente (referenciado en la figura 1). Las dimensiones son: ancho de 1.65 metros y largo de 0.78 metros. Se unen en un séptimo tanque colector con ancho de 2.30 metros y largo de 1.35 metros, por medio de tubería de 4 pulgadas de diámetro para ingresar posteriormente a los filtros de carbón activado con un caudal de 14.40 m³/h.

Figura 7. **Humedal artificial**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes, marzo de 2018.

El filtro de carbón activado tiene como propósito retirar las moléculas de hipoclorito y ácido cloroso. El carbón debe ser activado en el momento preciso, antes de determinar que las algas del humedal funcionen como filtro para evitar contaminar el carbón. Es sistema de carbón activado esta consituido por tres toneles en serie con capacidad de 0.21 m^3 (55 galones), los toneles se encuentran unidos por tubería de 4 pulgadas de diámetro.

Figura 8. **Filtro de carbón activado**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales de la Aldea Los Jocotes, marzo de 2018.

Tabla IV. **Eliminación de constituyentes por medio de operaciones y procesos de tratamiento avanzados**

| Principal función de eliminación | Descripción de la operación o proceso |
|--|--|
| Eliminación de sólidos suspendidos | Filtración Microtamices |
| Oxidación de amoníaco | Nitrificación biológica |
| Eliminación de nitrógeno | Nitrificación/desnitrificación biológica |
| Eliminación de nitratos | Desnitrificación biológica en etapas separadas |
| Eliminación biológica de fósforo | Eliminación de fósforo en la línea principal Eliminación de fósforo en la línea auxiliar |
| Eliminación biológica conjunta de nitrógeno y fósforo | Nitrificación/desnitrificación biológica y eliminación de fósforo |
| Eliminación física o química de nitrógeno | Arrastre por aire Cloración al breakpoint Intercambio iónico |
| Eliminación de fósforo por adición de reactivos químicos | Precipitación química con sales metálicas Precipitación química con cal |
| Eliminación de compuestos tóxicos y materia orgánica refractaria | Adsorción sobre carbono Fangos activados-carbón activado en polvo Oxidación química |
| Eliminación de sólidos inorgánicos disueltos | Precipitación química Intercambio iónico Ultrafiltración Osmosis inversa Electrodialisis |
| Compuestos orgánicos volátiles | Volatilización y arrastre con gas |

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996.

5.3. Activadores biológicos

Los activadores biológicos están conformados, principalmente, por tres diferentes tipos de microorganismos: levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias fotosintéticas, las cuales promueven un proceso de fermentación antioxidante para descomponer la materia orgánica y facilitar el equilibrio de la flora microbiana. Al mismo tiempo, son fundamentales para la eliminación de olor, por la predominancia de microorganismos de tipo fermentativo, debido a la segregación de ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelantes metálicos. Dicho proceso se genera para contrarrestar la generación de olor cuando se descomponen microorganismos de tipo putrefactivo.

El activador biológico sólido es un producto formulado a base de enzimas hidrolíticas para tratamiento en digestores. Su funcionamiento consiste en acelerar la descomposición de materia orgánica, produciendo ocho billones por gramo de bacterias aeróbicas y anaróbicas no tóxicas, las cuales hidrolizan las proteínas ayudando a la descomposición rápida de los desechos orgánicos. Ayuda a mantener limpios y sin malos olores los digestores anaeróbicos y lagunas de lodo. Se recomienda para su uso 1 libra por cada 25 metro cúbico de capacidad, una vez a la semana. El producto debe mezclarse con agua tibia a una temperatura no mayor de 35 °C.

5.3.1. Efecto de la aplicación de activadores biológicos en una planta de tratamiento de aguas residuales

El activador biológico estabiliza la materia orgánica en un definido tiempo menor al proceso natural, lo cual ayuda a reducir la actividad de protozoarios, por lo que la eficiencia del proceso mejora, así como la calidad de agua. Los lodos generados con esta biotecnología tiene mayor concentración de

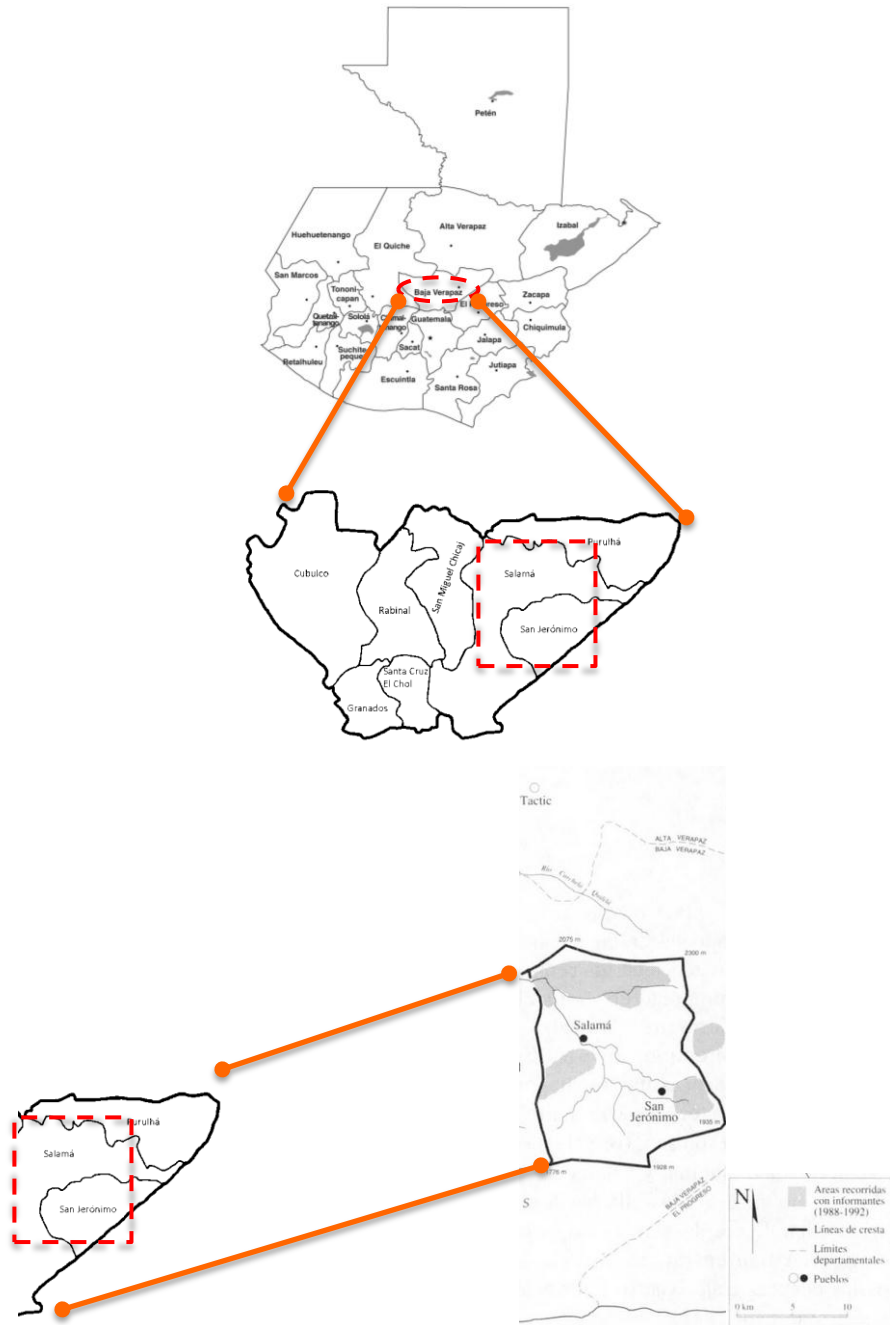
nutrientes y microorganismos, por lo que se puede utilizar como abono o sustrato para uso agrícola, dando una forma de operación más sostenible con ecosistema. Finalmente se aprovecha un efecto de disminución de los olores ofensivos alrededor de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Los objetivos del tratamiento biológico son tres: (1°) reducir el contenido en materia orgánica de las aguas residuales, (2°) reducir su contenido en nutrientes, y (3°) reducir los agentes patógenos y parásitos. (Pontaza, 2014)

5.4. Geografía de Aldea Los Jocotes San Jerónimo, Baja Verapaz

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada en la Aldea Los Jocotes del municipio de San Jerónimo que pertenece al departamento de Baja Verapaz. La extensión del municipio según el Diccionario Geográfico de Guatemala es de 464 Km². Está situado a 152 Km de la ciudad de Guatemala y 10 Km de la cabecera departamental, Salamá. Colinda al norte y oeste con Salamá, al este con el municipio de San Agustín Acasaguastlán y Morazán (departamento “El Progreso”), al sur con Morazán y Salamá.

El efluente generado de la planta de tratamiento de aguas residuales se descarta en el río San Jerónimo, es el único dentro de la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas, que drena hacia el río Chixoy llegando a la cuenca hidrográfica del río Usumacinta, el cual desemboca en el Golfo de México, por lo que toma importancia el cuidado de esa fuente hídrica.

Figura 9. Mapa esquemático de las cuencas de Baja Verapaz



Fuente: Arnauld, 1993.

6. PROPUESTA DE ÍNDICES

| | |
|------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | I |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | II |
| RESUMEN..... | III |
| OBJETIVOS..... | IV |
| HIPÓTESIS..... | V |
| INTRODUCCIÓN..... | VI |

1. RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales

2.1.1. Características físicas

2.1.1.1. Olor

2.1.1.2. Color

2.1.1.3. Temperatura

2.1.2. Características químicas

2.1.2.1. Potencial de hidrógeno

2.1.3. Características biológicas

2.1.3.1. Materia orgánica

2.1.3.1.1. Grasas y aceites

2.1.3.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno

2.1.3.1.3. Demanda química de oxígeno

2.2. Tratamiento de aguas residuales

2.2.1. Tratamiento preliminar

2.2.2. Tratamiento primario

2.2.3. Tratamiento secundario

2.2.4. Tratamiento terciario o avanzado

2.3. Activadores biológicos

2.3.1. Efecto de la aplicación de activadores biológicos en una planta de tratamiento de aguas residuales

2.4. Geografía de Aldea Los Jocotes San Jerónimo, Baja Verapaz

3. RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

7. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación por desarrollar se encuentra dentro de la línea de investigación de gestión ambiental, cuyo enfoque es la gestión y tratamiento de agua. Se evaluará un activador biológico sólido, además de verificar la eficiencia de proceso, económica y legal (AG 236-2006) por medio de los parámetros especificados a continuación. Para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos se realizará un muestreo del agua de entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales. Por lo tanto, el diseño de la investigación tiene carácter experimental cuantitativo descriptivo. Para ello, se definirán las variables por considerar.

Las variables cuantitativas dependientes son los porcentajes de remoción: grasas y aceites, DBO y DQO. Las variables independientes: pH y temperatura.

7.1. Fase 1: definición del plan de muestreo

7.1.1. Tipo de muestreo

La propuesta de trabajo de investigación realizará un muestreo simple referenciado al punto específico de mayor caudal de ingreso de aguas residuales a la planta de tratamiento, por lo que se detalla a continuación:

7.1.1.1. Muestreo simple

Muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos en el momento de la toma.

7.1.2. Número de muestras

El plan de muestreo se llevará a cabo mediante la siguiente premisa, debido a que los resultados deben ser precisos y satisfactorios. Se trata de disminuir los posibles errores utilizando un número adecuado de muestras a evaluar. Para llevar a cabo lo anterior, se trabajará mediante el método 1060B indicado en métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Se utilizan las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la siguiente fórmula y gráfica. (Standar methods for the examination of water and wastewater, 2002)

$$N \geq \left(\frac{ts}{U}\right)^2$$

[Ecuación 1]

Donde:

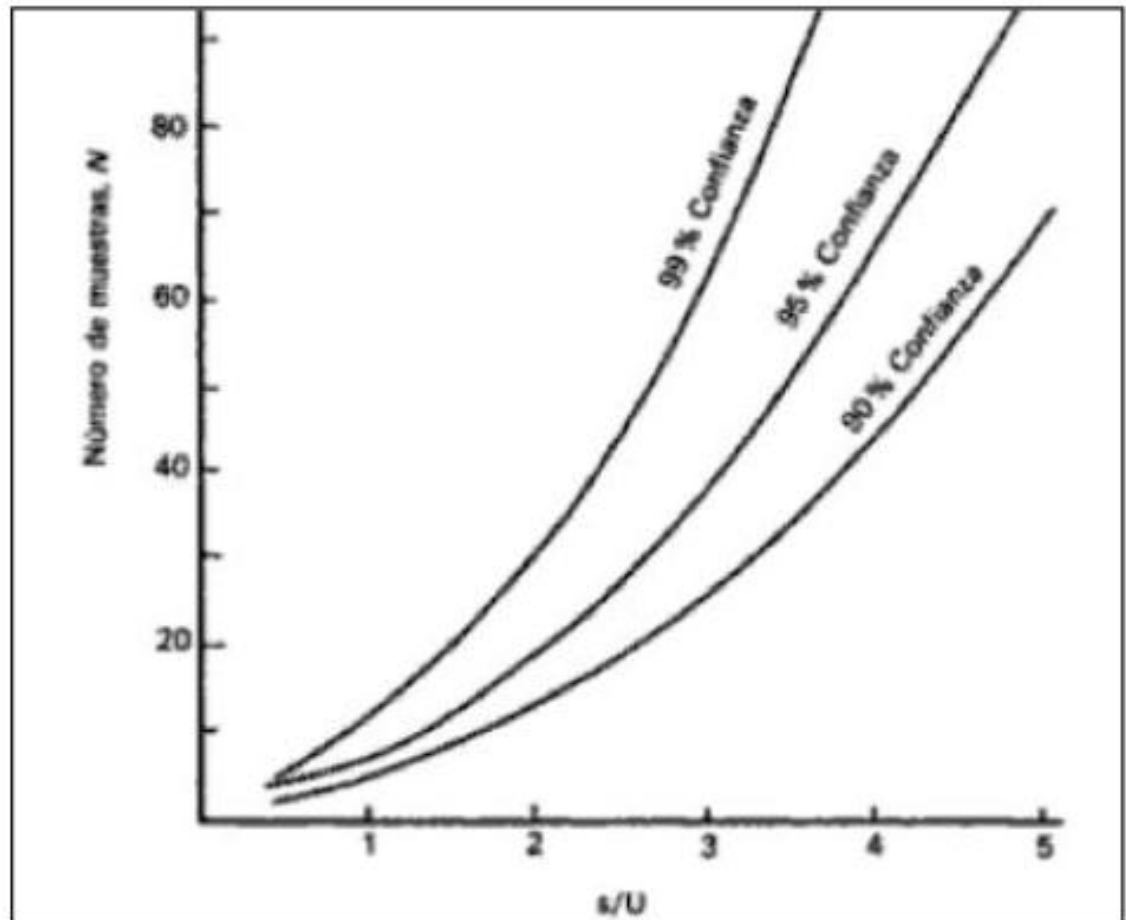
N = número de muestras

t = t de student para un nivel de confianza determinado

s = desviación estándar global

U = nivel de confianza aceptable

Figura 10. **Determinación de número de muestras**



Fuente: Standar methods for the examination of water and wastewater, 2002.

En la página 44 y 45 de Ramírez (2012), utiliza un desviación estándar, $s = 0.020$ y nivel de confianza, $U = 0.015$, obteniendo un valor de 1.33 para la relación s/U . Al interpolar en la gráfica para un nivel de confianza del 95%, se establece que el número de muestras para recolectar debe ser mayor o igual a 10.

En la página 15 y 16 de Pontaza (2014), no menciona que valor utiliza de desviación estándar y nivel de confianza. Únicamente hace referencia a una interpolación de la gráfica para un nivel de confianza del 95%, se establece que el número de muestras para recolectar debe ser mayor o igual a 6.

En la página 31 y 32 de Calderón (2014), utiliza un desviación estándar, $s = 0.018$ y nivel de confianza, $U = 0.014$, obteniendo un valor de 1.28 para la relación s/U . Al interpolar en la gráfica para un nivel de confianza del 95%, se establece que el número de muestras para recolectar debe ser mayor o igual a 9.

A continuación se analizan los valores contemplados en las tesis mencionadas anteriormente.

Tabla V. **Promedio desviación estándar y nivel de confianza**

| Referencia | Desviación estándar (s) | Nivel de confianza (U) |
|----------------|-------------------------|------------------------|
| Ramírez, 2012 | 0.0200 | 0.0150 |
| Calderón, 2014 | 0.0180 | 0.0140 |
| Promedio | 0.0190 | 0.0145 |

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, se obtiene un valor de 1.31 para la relación s/U . Al interpolar en la gráfica para un nivel de confianza del 95%, tomando en cuenta que para una relación $s/U = 1$ el número de muestras es 5 y relación $s/U = 2$ el número de muestras es 14. Se establece que el número de muestras para recolectar

debe ser mayor o igual a 7.79. Por lo tanto, el número de muestras a recolectar será de 8.

La interpolación se referencía a continuación:

$$y = \frac{(x - x_k)y_{k+1} - (x - x_{k+1})y_k}{(x_{k+1} - x_k)}$$

[Ecuación 2]

Sustituyendo datos:

$$x = 1.31$$

$$x_k = 1.00$$

$$x_{k+1} = 2.00$$

y = Variable incognita

$$y_k = 5$$

$$y_{k+1} = 14$$

$$y = \frac{(1.31 - 1.00)14 - (1.31 - 2)5}{2.00 - 1.00} = 7.79$$

Lo anterior se sustenta con un segundo método en el cual se trabajará con un 95 % de probabilidad de éxito, por lo tanto, un 5 % de probabilidad de fracaso. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Z^2 PQ}{E^2}$$

[Ecuación 3]

Donde:

Z = Confiabilidad

P = Probabilidad de éxito

Q = Probabilidad de fracaso (1 – P)

E = Error estimado

N = Número de corridas

El desarrollo del trabajo de investigación bajo dichos parámetros tiene una confiabilidad 1.96, y un error estimado del 15 %, por lo tanto, utilizando la Ecuación 2 se obtiene la siguiente número de corridas:

$$N = \frac{(1,96)^2 \cdot 0,95 \cdot 0,05}{(0,15)^2}$$

$$N = 8,11 \gg 8$$

De acuerdo con el resultado anterior, el número de corridas por realizar será de 8 muestras. La primer muestra será tomada a los 10 días después de haber realizado la dosificación del activador biológico sólido, la segunda muestra, a los 5 días después de haber tomado la primer muestra. Se realizará un muestreo con una periodicidad de 5 días hasta finalizar con la octava muestra a los 35 días después de haber tomado la primer muestra. Las muestras en mención se utilizarán para el análisis físico, químico y biológico de los parámetros mencionados para recopilar información necesaria en la determinación de su tendencia.

7.2. Fase 2: tratamiento con activador biológico

Con base en las variables dependientes e independientes planteadas para el trabajo de investigación, se utilizará la técnica cuantitativa, por lo tanto, a continuación se describen los pasos para desarrollar el estudio de evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos de la descarga de aguas residuales utilizando un activador biológico sólido.

7.2.1. Preparar el activador biológico sólido

- Realizar medición in situ del potencial de hidrógeno (pH).
- Controlar el valor de pH para garantizar la vida útil del activador biológico en el medio.
- Pesar la cantidad de activador biológico a utilizar, y añadir a un recipiente limpio sin ningún contaminante sólido o líquido para garantizar una adecuada activación de las bacterias.
- Diluir el activador biológico con agua, y mezclar para poder lograr una activación adecuada de las bacterias.
- Esperar 1 hora mientras se estabiliza el sistema.
- Realizar medición in situ del pH.
- Determinar si fue suficiente la dosificación inicial del activador biológico.

Al momento de realizar la primera dosificación del activador biológico sólido, se tomará una muestra semanalmente para verificar el pH y temperatura. De esa manera se determinará la necesidad de realizar una dosificación adicional del activador para garantizar una apropiada degradación de la materia orgánica, grasas y aceites presentes en el agua residual.

Tabla VI. **Medición de pH y temperatura**

| No. Semana | No. de Corrida | Parámetro | Valor |
|------------|----------------|-----------|-------|
| 1 | 1 | pH / T | |
| | 2 | | |
| 2 | 1 | | |
| | 2 | | |

Fuente: elaboración propia.

7.2.2. Toma de muestra para evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos

- Preparar un recipiente esterilizado de 1000 ml.
- Toma de la primera muestra del agua a la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, 10 días después de haber realizado la primera dosificación del activador biológico sólido.
- Traslado de muestra de agua residual al laboratorio para el análisis correspondiente. Con el resultado de los análisis se verificará los valores de grasas y aceites, DBO y DQO.
- Toma de la segunda muestra de la planta de tratamiento de aguas residuales 5 días después de haber tomado la primera muestra.
- Traslado de muestra a laboratorio para realizar análisis similar al de la primera muestra.
- Toma de las siguientes muestras con una periodicidad de 5 días, hasta finalizar con la octava muestra a los 35 días después de haber tomado la primer muestra.

7.3. Fase 3: recopilación de la información

7.3.1. Tabular resultado de muestras utilizando activador biológico sólido

- Obtención de los resultados de los análisis del agua residual realizados utilizando el activador biológico sólido.
- Tabulación de la información en programa de Microsoft Excel para realizar análisis de datos.

Tabla VII. Valores de análisis utilizando activador biológico sólido

| Fecha | Variable | | |
|-------|------------------|-----|-----|
| | Grasas y aceites | DBO | DQO |
| | | | |
| | | | |

Fuente: elaboración propia.

7.4. Fase 4: discusión de resultados

Para cumplir con el primer objetivo específico, se tomarán los datos tabulados obtenidos de los análisis para determinar el comportamiento de los parámetros, verificar su estabilización o disminución conforme el avance de dosificación del activador biológico sólido, según los valores esperados en la caracterización del efluente generado en la planta de tratamiento de aguas residuales.

El segundo objetivo específico, se compararán los parámetros de grasas y aceites, DBO y DQO en la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales para determinar el porcentaje de remoción.

Para alcanzar el tercer objetivo, se busca cuantificar los costos de operación y mantenimiento anual al utilizar el activador biológico sólido en la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo tanto, se podrá interpretar el comportamiento de los costos según determinación de dosificación para garantizar la estabilización de materia orgánica.

El cuarto objetivo busca determinar la existencia del cumplimiento del Acuerdo Gubernativo núm 236-2006, por lo que se compararán los parámetros en el efluente de la planta de tratamiento.

8. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Con base en las variables dependientes e independientes planteadas para el tema de investigación, se utilizará la técnica de la estadística descriptiva. A continuación se describen los pasos para desarrollar el adecuado manejo de la información. Luego se llevará a cabo una comparación adecuada. El diagrama representa la estrategia para la obtención y el manejo de los datos para alcanzar uno de los objetivos planteados.

8.1. Medida de porcentaje de remoción

$$\%Rem_x = \frac{(X_o - X_f)}{X_o} * 100$$

[Ecuación 4]

Donde:

$\%Rem_x$ = Porcentaje de remoción

X_o = Variable inicial

X_f = Variable final

8.2. Medidas de tendencia central y dispersión

Las medidas de tendencia central y dispersión serán desarrolladas para el análisis de variables (grasas y aceites, DBO y DQO) de ambos activadores biológicos, para determinar su eficacia.

- Diagrama de medidas de tendencia central
 - Identificar variable, según el problema u objetivo.
 - Determinar el tipo de variable, según su naturaleza: cuantitativa o cualitativa.
 - Clasificar el tipo de variable cuantitativa en discretas o continuas.
 - Determinar la distribución de frecuencias, frecuencia simple y absoluta, frecuencia acumulada y relativa.
 - Determinar la media aritmética, mediana y moda.
 - Analizar los datos obtenidos para interpretarlos.

- Diagrama de medidas de dispersión
 - Determinar el rango de la distribución
 - Evaluar la desviación media, varianza y desviación típica estándar
 - Analizar los datos obtenidos para interpretarlos

8.2.1. Recopilación de la información

- Medida aritmética datos no agrupados

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \cdot f_i}{n}$$

[Ecuación 5]

- Mediana datos no agrupados, datos impares

$$Md = x_{\frac{n+1}{2}}$$

[Ecuación 6]

- Moda datos no agrupados

La moda de datos no agrupados es el valor que tiene mayor frecuencia simple.

- Desviación media datos no agrupados

$$D_x = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n}$$

[Ecuación 7]

- Varianza de datos no agrupados

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

[Ecuación 8]

- Desviación típica datos no agrupados

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

[Ecuación 9]

Donde:

D_x = Desviación media

S = Desviación típica

f_i = Frecuencia simple

\bar{x} = Media aritmética

Md = Mediana

n = Número de datos

x = Número de variables

x_i = Variable

S^2 = Varianza

BIBLIOGRAFÍA

1. Alasino, N. (2009). *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional del Litoral de Santa Fe, Argentina.
2. Arnauld, M. (1993). *Los territorios políticos de las cuencas de Salamá, Rabinal y Cubulco en el Postclásico*. Recuperado el 22 de Octubre de 2017, de <http://books.openedition.org/cemca/2386#illustrations>
3. AWWA; APHA; WPCF (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid, España.
4. Calderón de León, P. (2014). Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
5. Castañeda Chávez, M. (2000). Evaluación de los parámetros de proceso para obtener composta por fermentación aerobia acelerada con inyección de aire y la adición de compuestos biológicos. (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana, México.
6. Crites, R. & Tchobanoglous, G. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia: Editorial McGraw-Hill.

7. Espinoza Paz, R. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores*. (Tesis de maestría). Universidad de Piura de Lima, Perú.
8. Girón Morales, R. (2004). Consideraciones ambientales para plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando tanques imhoff en la Colonia el Tesoro, Mixco (Trabajo de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
9. Guatemala: Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. (2006). *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de <http://centrarse.org/wp-content/uploads/2012/11/Regla-236-2006-AGUASRESIDUAESYLODOS.pdf>
10. Hammeken Arana, A. & Romero García, E. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. (Trabajo de grado). Universidad de las Américas Puebla, México.
11. Lazcano Navarro, P. (2013). *Tratamiento del agua residual generada en un edificio mediante contactores biológicos rotatorios*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
12. López Cajiao, M. (2009). Optimización del tratamiento, manejo y disposición de los lodos residuales de una industria láctea de la sabana de Bogotá, a través de la incorporación de un bioactivador celular natural. (Trabajo de grado). Pontifica Universidad Javeriana de Bogotá, Colombia.

13. Metcalf & Eddy. (1996). Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. México: Editorial McGraw-Hill.
14. Mézquita, A. (1999). *Tratamiento biológico de aguas residuales a base de enzimas y bacterias*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de https://www.intec.edu.do/downloads/pdf/biblioteca/006-biblioteca_iso690_2-200510.pdf
15. Montes Vázquez, M. (2010). Desarrollo de un bioestimulante a base de microalgas y bacterias para el tratamiento de influentes residuales. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México.
16. Pontaza Pivaral, J. (2014). Eficiencia de microorganismos efectivos (ME) aplicados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (Colonia Panorama) Mixco, Guatemala. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
17. Puyol Santos, D. (2010). *Biodegradación anaerobia de clorofenoles en aguas residuales*. (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Madrid, España.
18. Quintero Rendón, L. (2011). Evaluación del tratamiento biológico para la remoción del color índigo del agua residual industrial textil, por consorcio microbiano, en lecho fluidizado. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
19. Ramírez Sánchez, O. (2012). Investigación de la eficiencia de las etapas en serie del filtro percolador de la planta de tratamiento de

aguas residuales de la Universidad de San Carlos. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

20. Ruiz Urizar, M. (1997). *Plantas de tratamiento por aireación extendida para aguas servidas*. (Trabajo de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
21. Vidal, G. (2012). Control de la contaminación de aguas servidas en áreas rurales de alta sensibilidad sísmica, a través de humedales construidos: incidencia en la eliminación de potencial biológico evaluado como disrupción endocrina. Chile: Fundación Mapfre.
22. Yagnentkovsky, N. (2011). Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de la Plata, Argentina.

APÉNDICES

Apéndice 1. Cronograma

| Fase | Actividad | Mes 1 | | | | Mes 2 | | | | Mes 3 | | | | Mes 4 | | | |
|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|-------|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Fase 1: Plan de muestreo | Visita In Situ de planta de tratamiento de aguas residuales de Aldea Los Jocotes San Jerónimo, Baja Verapaz. | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Determinación de tipo de muestreo y número de muestras | | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| | Obtención de activador biológico sólido. | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| | Determinación de condiciones fisicoquímicas de planta piloto. | | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Fase 2: Tratamiento con activador biológico | Estabilización de pH y Temperatura. Determinación de dosificación y cuantificación del tiempo de estabilización utilizando activador biológico sólido. | | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| | Muestre de agua a la entrada y salida de la planta de tratamiento a los 10 días de haber realizado la primer dosificación. | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| | Muestre de agua a la entrada y salida de la planta de tratamiento con la periodicidad de cinco días después de haber tomado la primer muestra. | | | | | | ■ | | | | | | | | | | |
| | Finalización de muestreo con la octava muestra, la cual debe ser tomada a los 35 días después de haber tomado la primer muestra. | | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| Fase 3: Recopilación de la información | Obtención de información de parámetros físicos, químicos y biológicos provenientes de los análisis anteriores. | | | | | | | | ■ | | | | | | | | |
| | Determinación de la influencia en la tendencia de los valores de los parámetros mencionados al utilizar activador biológico sólido. | | | | | | | | | ■ | | | | | | | |
| | Determinación del porcentaje de remoción de cada parámetro mencionado, así como la existencia del cumplimiento del Acuerdo Gubernativo núm 236-2006. | | | | | | | | | | | ■ | | | | | |
| | Cuantificación de los costos operativos y mantenimiento anual utilizando activador biológico sólido. | | | | | | | | | | | | ■ | | | | |
| Fase 4: Resultados | Elaboración de reporte final de la investigación. | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Factibilidad del estudio**

El recurso humano con el cual se contará para llevar a cabo el trabajo de investigación está integrado por:

- Tesista: Josué Saim Matheu García
- Asesor: Flor de María Solorzano
Ingeniería Civil y Sanitaria
Universidad de San Carlos de Guatemala
Colegiado No. 9419

Los recursos financieros utilizados para trasladarse hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, según la programación será proporcionado por el tesista; sin embargo, la compra del activador biológico sólido, así como los análisis pertinentes (físicos, químicos y biológicos) que se llevarán cabo para determinar la eficiencia de dicho activador será proporcionado por la Mancomunidad de Municipios del Valle (MANCOVALLE).

Se utilizarán distintos programas para facilitar el manejo de información y procesamiento de texto. La información será proporcionada por la base de datos de MANCOVALLE, donde se recopilarán los parámetros físicos, químicos y biológicos de los análisis realizados para demostrar el cumplimiento de los parámetros permitidos del agua descartable de la planta de tratamiento.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Costos para llevar a cabo la investigación

| Recursos | Costo (Q) |
|-------------------------|------------------|
| Asesor | 2,500.00 |
| Alimentación | 320.00 |
| Transporte | 800.00 |
| Activador Biológico | 4,000.00 |
| Análisis Fisicoquímicos | 6,400.00 |
| Total | 14,020.00 |

Fuente: elaboración propia.

Por medio del análisis de los costos de cada recurso necesario para desarrollar la investigación, tomando en cuenta la participación económica del tesista y MANCOVALLE, es factible llevarla a cabo.