



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO (SBR) PILOTO PARA TRATAMIENTO
DE AGUA RESIDUAL**

Inga. Ingrid Paola Angulo Cortez

Asesorado por el Dr. José Antonio Rosal Chicas

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO (SBR) PILOTO PARA TRATAMIENTO
DE AGUA RESIDUAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

INGA. INGRID PAOLA ANGULO CORTEZ

ASESORADO POR EL DR. JOSÉ ANTONIO ROSAL CHICAS

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRA EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, ENERO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Luis Rodolfo Castro García
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Karen Michelle Martínez Figueroa
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 UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO (SBR) PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 3 de agosto de 2021.

Inga. Ingrid Paola Angulo Cortez

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.118.2023

La Decana 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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO (SBR) PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**, presentado por: **Inga. Ingrid Paola Angulo Cortez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Energía y ambiente después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Decana

Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, enero de 2023

LNG.EEP.OI.118.2023

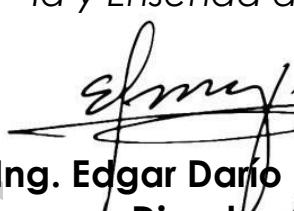
En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO (SBR) PILOTO
PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL”**

presentado por **Inga. Ingrid Paola Angulo Cortez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todas”


Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 13 de octubre de 2020.

M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

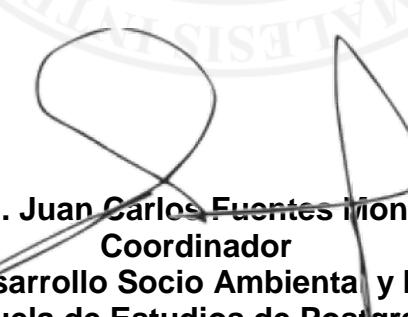
M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** de trabajo de graduación titulado: **“Diseño un Reactor Biológico Aerobio (SBR) Piloto para Tratamiento de Agua Residual”** del estudiante **Ingrid Paola Angulo Cortez** quien se identifica con número de carné **202090481** del programa de **Maestría en Energía y Ambiente**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,


M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepique
Coordinador
Área de Desarrollo Socio Ambiental y Energético
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC



Guatemala, 28 octubre 2021.

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

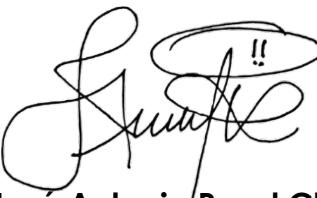
Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante **Ingrid Paola Angulo Cortez**, Carné número **202090481**, cuyo título es **“DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AEROBIO (SBR) PILOTO PARA TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL”**, para optar al grado académico de Maestro en Energía y Ambiente, he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Angulo Cortez, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Dr. José Antonio Rosal Chicas
M.A. Energía y Ambiente
Asesor

José Antonio Rosal Ph.D.
Doctor en Ciencias de la Investigación
Maestro en Energía y Ambiente
Ingeniero Químico Industrial
Colegiado 1837

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la virgen

Por acompañarme y bendecir mi camino, por ser siempre mi guía y permitir que me destaque en otras facetas de mi vida.

Mis padres

Orlin Angulo (q. e. p. d.) y Trinidad Cortez, por haberme dado la vida, por su amor y entrega incondicional en mi formación académica e impulsarme cada día para lograr mis metas.

Mi hermana

Mtra. Ericka Angulo, por apoyarme y guiar me en el transcurso de mi vida y ser mi ejemplo a seguir.

Mi esposo

Wilson Ararat, por estar pendiente de mí, por siempre ser un apoyo en mi vida, dándome aliento en los tiempos difíciles y alegría para superar las adversidades.

Mis amigos

Yanina Chávez y Olga Tuchez, por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos, igualmente, a mis compañeros de la maestría: Carlos Izaguirre, Manuel Tzul, Ángel Hernández y Teri Osorio, por su entrega y compañerismo en el transcurso de estudio de la maestría y en los momentos difíciles.

Embajador

Lic. Francisco Aguirre, por brindarme su soporte y comprensión, además por motivarme a seguir preparándome académicamente.

AGRADECIMIENTOS A:

- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por brindarme la oportunidad de conocer la institución y por la instrucción compartida para reforzar y mejorar mi carrera profesional.
- Facultad de Ingeniería** Por ayudarme en el desarrollo de mis actitudes técnicas y científicas, las que permitieron alcanzar un desenvolvimiento en mi campo profesional.
- Mi asesor** Dr. José Rosal Chicas, mi asesor favorito, por su amistad, cariño, paciencia y por siempre motivarme a terminar mis estudios, gracias totales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
OBJETIVOS	XIX
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes de la investigación	1
1.2. Caracterización del agua residual	3
1.2.1. Caudal	5
1.2.2. Parámetros de calidad del agua	6
1.2.3. Toma de muestras	10
1.3. Tipos de tratamiento de aguas residuales	10
1.3.1. Pretratamientos	10
1.3.2. Tratamientos primarios	11
1.3.3. Tratamientos biológicos	12
1.3.4. Tratamiento terciario	13
1.3.5. Equipos utilizados para tratamientos de aguas residuales	14
1.4. Reactores biológicos secuenciales (SBR)	16
1.4.1. Definición	16

1.4.2.	Operación reactores discontinuos secuenciales (SBR).....	16
1.4.3.	Eficiencia del proceso de SBR	18
1.5.	Marco legal.....	20
1.5.1.	Legislación vigente en Guatemala	20
1.5.2.	Parámetros permisibles.....	21
1.5.3.	Manejo de lodos	25
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	29
2.1.	Consolidación de datos iniciales del análisis de agua residual.....	29
2.1.1.	Toma de muestra inicial del agua residual doméstica	31
2.1.2.	Medición de condiciones iniciales del efluente	33
2.2.	Diseño del reactor	35
2.2.1.	Condiciones de operación del reactor	37
2.3.	Operación, costos y resultados de las pruebas.....	39
2.3.1.	Determinación del porcentaje para la reducción de carga contaminante	40
2.3.2.	Eficacia del tratamiento a escala laboratorio	42
2.3.3.	Consolidación de datos del análisis de agua residual.....	42
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
3.1.	Parámetros de descarga del agua sin tratamiento.....	45
3.2.	Operación del reactor.....	46
3.3.	Parámetros del agua residual después del tratamiento	55
3.4.	Eficiencia del tratamiento en el reactor	55
3.5.	Muestra inicial y muestra final	57

3.6. Lodos activados.....	58
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS	69
APÉNDICES	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de los sólidos en las aguas	9
2.	Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento las aguas residuales	15
3.	Etapas de un ciclo de operación de un SBR	17
4.	Salida de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II.....	32
5.	Toma de muestra inicial de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para pruebas de laboratorio.....	33
6.	Toma de pH y muestra inicial de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para análisis de laboratorio	34
7.	Muestras iniciales de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para análisis de laboratorio.....	34
8.	Reactor biológico aerobio (SBR) piloto	37
9.	Salidas de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II	46
10.	Toma de muestra inicial del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para el reactor (SBR) piloto	47
11.	Llenado de reactor biológico aerobio (SBR) piloto	47
12.	Funcionamiento del reactor biológico aerobio (SBR) piloto.....	48
13.	Sedimentación del efluente tratado en el reactor biológico aerobio (SBR) piloto.....	49
14.	Descarga del efluente tratado en el reactor biológico aerobio (SBR) piloto.....	50
15.	Toma de muestras microbiana y fisicoquímica	51
16.	Toma de muestra de metales pesados y medición del pH.....	52

17.	Toma de muestra final del reactor para pruebas de laboratorio	52
18.	Curvas de consumo en el reactor	53
19.	Funcionamiento del reactor	54
20.	Resultado final del tratamiento del agua residual doméstica	57

TABLAS

I.	Composición del agua residual doméstica no tratada.....	4
II.	Principales procesos de tratamiento biológicos utilizados para tratamientos de aguas residuales	13
III.	Tratamiento de agua residual (AR) mediante un SBR	19
IV.	Reducción progresiva de cargas de la demanda bioquímica de oxígeno	22
V.	Parámetro de calidad de la demanda bioquímica de oxígeno	23
VI.	Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público	23
VII.	Composición de lodos activados.....	25
VIII.	Tratamientos y métodos para los lodos residuales	26
IX.	Parámetros iniciales del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II	29
X.	Parámetros iniciales del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II	30
XI.	Parámetros iniciales del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II	31
XII.	Registro de condiciones de manipulación de muestras	32
XIII.	Concentraciones iniciales de la muestra.....	33
XIV.	Materiales utilizados, área y dimensión del equipo	35
XV.	Datos para curva de consumo DBO ₅	39
XVI.	Datos para curva de consumo DQO	39

XVII.	Datos para curva de consumo sólidos suspendidos	40
XVIII.	Datos sobre costos del reactor y tratamiento	40
XIX.	Porcentaje de reducción de carga contaminante	41
XX.	Eficacia del tratamiento a escala laboratorio	42
XXI.	Parámetros de descarga de agua residual.....	43
XXII.	Concentraciones iniciales de la muestra.....	45
XXIII.	Datos para curvas de consumo.....	53
XXIV.	Datos para curva de consumo	54
XXV.	Concentraciones finales de muestra	55
XXVI.	Datos de reducción de concentraciones	55
XXVII.	Eficacia del tratamiento a escala laboratorio de los parámetros más relevantes.....	56
XXVIII.	Resultados finales de laboratorio	58
XXIX.	Resultados % de lodos activados generados.....	59

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
°C	Grados Celsius
L	Litro
m³	Metros cúbicos
mg	Miligramos
NMP	Número más probable
pH	Potencial de hidrógeno
SBR	Reactor biológico secuencial
RPM	Revoluciones por minuto
s	Segundos
UTN	Unidades de turbidez

X

GLOSARIO

Aguas residuales	Son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Alcantarillado público	Conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o de tipo especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.
Caracterización	La composición de las aguas residuales, compuesta por aguas fecales, aguas de lavado, materia sólida y diferentes residuos de naturaleza inorgánica y orgánica.
Carga orgánica	Flujo de materia orgánica por unidad de volumen. Se expresa como la velocidad a la que se suministra al sistema la materia orgánica disuelta (kg DQO/ m ³ d o kg DBO ₅ /m ³ d).
Caudal	Volumen de agua por unidad de tiempo.
Límite máximo permisible	Es el valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reúso y lodos.

Muestra compuesta	Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos.
Oxígeno disuelto	El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto en el agua.
Parámetro	Es la variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
Tratamiento aerobio	Tratamiento que se basa en la eliminación de carga orgánica contaminante, con la ayuda de oxígeno y su transformación en biomasa bacteriana.
Tratamiento biológico	Tipo de tratamiento donde se usan microorganismos para el tratamiento de un agua residual.
Tratamiento de aguas residuales	Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de estos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

RESUMEN

La investigación realizada tuvo como finalidad el diseñar un reactor biológico aerobio (SBR) piloto para tratamiento de agua residual, donde se estableció un ciclo óptimo para el tratamiento del efluente y la factibilidad del funcionamiento del reactor, a su vez, se comprobó el porcentaje de reducción en los parámetros determinados después del tratamiento del efluente, para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente guatemalteca.

En el estudio de investigación, se realizó una caracterización del agua residual, se determinó que tipo de contaminante se estudiaría y qué tipo de tratamiento sería el idóneo. Durante la pesquisa se determinaron los parámetros de descarga para su posterior estudio y se estableció un punto de partida mediante el análisis del agua residual a tratar durante 1 semana. Esto con la finalidad de tener una referencia de las condiciones de descarga.

Asimismo, el muestreo realizado consistió en la toma de una muestra simple, por el método volumétrico manual, por el laboratorio contratado. Las muestras fueron tomadas en la planta de tratamiento ERIS (colonia La Aurora II) y del reactor, después de completar el ciclo de tratamiento del efluente. Los análisis se realizaron con la finalidad de comparar las condiciones de toma de muestra del análisis inicial, constatar el consumo de sustrato y disminución de carga contaminante, donde se obtuvo como resultado la disminución de los parámetros establecidos.

Luego del funcionamiento del reactor y análisis establecidos, se llegó a la conclusión que durante los ciclos de tratamiento del agua residual se obtuvo una

eficiencia promedia del 85 %, con este resultado se determinó que el reactor aerobio es una de las alternativas más conveniente para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Al pasar los años los estudios de impacto ambiental y educación ambiental han dado un giro significativo en la lucha contra la contaminación del medio ambiente. Esto incursionó debido al foco de contaminación en los ríos, lagos y mares desde hace mucho tiempo atrás, los mismos que fueron olvidados y contaminados con toda la basura producida por la actividad humana.

Esta problemática se dio debido al crecimiento desmesurado de la población a nivel mundial, causando el incremento de la cantidad y la variedad de las aguas residuales, tanto en materia orgánica como en nutrientes. Uno de los procesos gravemente afectados es la eutrofización debido a la contribución excesiva de nutrientes a un ecosistema, ocasionando el descenso del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua y la reproducción de un ambiente tóxico para los cuerpos acuáticos.

Debido al poco interés a la conservación de los cuerpos hídricos se ha incrementado los niveles de exigencia en la normativa ambiental en muchos países del mundo y de esta forma tener un mayor control en los parámetros de descargas de aguas residuales. Asimismo, para el control de este fenómeno es preciso reducir la descarga de estos contaminantes, implementando tratamientos idóneos hacia los efluentes.

Existen muchas opciones de tratamientos biológicos que pueden remediar la contaminación de las aguas. Un ejemplo interesante son los reactores discontinuos secuenciales (SBR). Estos sistemas de tratamiento de aguas residuales emplean la tecnología de lodos activados, mediante una secuencia de

ciclo de llenado y de vaciado. Presentan excelentes resultados en la eliminación de carga contaminante en los efluentes, ya que la implementación de este sistema brinda diversas ventajas como: bajos costos de construcción e instalación, poco requerimiento de espacio y facilidad de manejo. En Guatemala este tipo de sistemas no se han implementado ya que no se registra ningún tipo de investigación y esto se debe al desconocimiento o poco interés de las empresas para la implementación de estos sistemas.

No se tiene un estudio de aplicación de la tecnología de los sistemas SBR, por lo que en la práctica se sabe poco de su funcionamiento y de los principales parámetros de operación. No se tiene un punto de referencia para investigadores en Guatemala, que estén interesados en el mejoramiento de los sistemas de tratamientos de aguas residuales, que puedan despertar un interés en entidades públicas y privadas para el manejo adecuado de sus efluentes y en la conservación del recurso hídrico. Por lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se podrá diseñar un reactor biológico aerobio (SBR) piloto para tratamiento de agua residual?

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

- ¿Cuáles son los diferentes tipos de reactor SBR para tratamiento de agua residual?
- ¿Cómo se realizará la construcción de un reactor SBR apropiado para Guatemala?
- ¿Cuál será el porcentaje de reducción en los contaminantes después del tratamiento del agua residual en el reactor biológico aeróbico?

- ¿Será el diseño del reactor y su funcionamiento factibles y adecuados para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente?

OBJETIVOS

- General

Diseñar un reactor biológico aerobio (SBR) piloto para tratamiento de agua residual.

- Específicos

- Enumerar los diferentes tipos de reactor SBR para tratamiento de agua residual.
- Establecer la construcción de un reactor SBR apropiado para Guatemala.
- Determinar el porcentaje de reducción en los parámetros del agua residual después del tratamiento en el reactor biológico aeróbico.
- Calificar si el diseño del reactor y su funcionamiento son factibles y adecuados para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio fue de tipo cuantitativo descriptivo. En este se realizó el diseño de un reactor biológico aerobio (SBR) piloto para el tratamiento de agua residual, a través de un ensayo a pequeña escala y una determinación de la caracterización del agua residual, se procedió a encontrar un tratamiento idóneo para el efluente a tratar.

Como primera observación, se realizó una caracterización y análisis fisicoquímico del agua residual a tratar, donde se estableció la cantidad total de materia orgánica en suspensión entre otros parámetros. Asimismo, se analizó las características físicas existentes en el agua que eran importantes como: el olor, la densidad, la temperatura, la turbidez y el color.

Luego de realizar los estudios pertinentes del efluente a tratar, se procedió con la implementación de las fases del tratamiento del mismo, que se detallan a continuación:

- La etapa de llenado: antes de verter el efluente en el reactor se realizó el filtrado de sólidos grueso y finos, posteriormente se procedió al llenado donde se añadió el efluente a tratar en el SBR, este proceso tuvo un tiempo aproximado de 5 minutos, se mantuvieron encendidos los agitadores para garantizar una correcta homogeneización de la mezcla.
- Etapa de reacción o aireación: en esta fase se produce la degradación de la materia orgánica, se encendió los equipos de aireación para que los microorganismos existentes en el reactor dispongan del oxígeno necesario

para que realicen el proceso, asimismo se mantuvo una agitación permanentemente a los sólidos suspendidos en el interior del reactor y este proceso llevó un tiempo cercano a 24 horas, lo que permitió el consumo de sustrato en ambientes controlados.

- Sedimentación: una vez concluida la etapa de reacción o aireación se dejó reposar el agua residual aproximadamente 1 hora permitiendo la separación por capas del licor de mezcla y el efluente ya tratado y como resultado se obtuvo un efluente más claro.
- Vaciado: en esta etapa se extrajo el efluente tratado del SBR, se tomó una muestra y se envió a laboratorio para un análisis fisicoquímico y se determinó el cumplimiento de los parámetros establecidos para realizar su posterior descarga, asimismo se realizó la remoción del exceso de lodo activado, este procedimiento tomó de 5 a 10 minutos.
- Reposo: normalmente en esta etapa se establece entre el llenado y vaciado un lapso de tiempo de 24 horas y un reposo de 1 hora, para asegurar que ambas etapas no provoquen error en el siguiente ciclo de operación en el SBR.

Finalmente, después del proceso de tratamiento se procedió a realizar la toma de muestra, se ejecutó mediante una muestra simple, tomada desde las 24 horas de la etapa de reacción o aireación en horas de la mañana, esto con el fin de completar el ciclo de tratamiento del efluente, además, se realizó un juego de tiempo con respecto a la etapa antes mencionada, para constatar el consumo de sustrato y desarrollo de lodos en el reactor.

INTRODUCCIÓN

Al pasar los años los estudios de impacto ambiental y educación ambiental han dado un giro significativo en la lucha contra la contaminación del medio ambiente, debido al poco interés en la conservación de los cuerpos hídricos, lo que ha marcado un incremento significativo en los niveles de exigencia en la normativa ambiental en muchos países del mundo, esta problemática se dio debido al crecimiento desmesurado de la población a nivel mundial, causando el incremento de la cantidad y la variedad de las aguas residuales, tanto en materia orgánica como en nutrientes.

En la actualidad existen muchas opciones de tratamientos biológicos que pueden remediar la contaminación de las aguas. Un ejemplo interesante son los reactores discontinuos secuenciales (SBR). Estos sistemas de tratamiento de aguas residuales emplean la tecnología de lodos activados, mediante una secuencia de ciclo de llenado y de vaciado. Presentan excelentes resultados en la eliminación de carga contaminante en los efluentes, ya que la implementación de este sistema brinda diversas ventajas como: bajos costos de construcción e instalación, poco requerimiento de espacio y facilidad de manejo. En Guatemala este tipo de sistemas no se han implementado ya que no se registra ningún tipo de investigación y esto se debe al desconocimiento o poco interés de las empresas para la implementación de estos sistemas.

En esta investigación se realizó el diseño de un reactor biológico aerobio (SBR) piloto para el tratamiento de agua residual, a través de un ensayo a pequeña escala y una determinación de la caracterización del agua residual. Se procedió a encontrar un tratamiento idóneo para el efluente a tratar. Además,

como primera observación, se realizó una caracterización y análisis fisicoquímico del agua residual a tratar, donde se estableció la cantidad total en materia orgánica en suspensión entre otros parámetros

En el capítulo 1, se realizó el estudio de las características físicas existentes en el agua que eran importantes como: el olor, la densidad, la temperatura, la turbidez y el color, mediante la cantidad total de sólidos existentes conocidos como materia orgánica en suspensión, donde se puede encontrar materia sedimentable, materia coloidal y materia disuelta.

Al darse a conocer el tipo de contaminación que contiene el efluente mediante la caracterización, se determinó una amplia variedad de información sobre el tipo y concentración existente en el agua. Los parámetros principales que se analizaron fueron el pH y conductividad, los que darán una idea del contenido de materia orgánica, asimismo, la cantidad de oxígeno disuelto-DQO, suma de oxígeno consumido por las bacterias o microorganismos preexistentes en el efluente-DBO, nutrientes como el fósforo y nitrógeno, sólidos en suspensión entre otros como: metales, tensioactivos, sulfatos, cianuros, cromo entre otros.

En el capítulo 2, se efectuó el desarrollo de la investigación, donde se realizó la construcción del reactor aerobio, asimismo, se tomaron las muestras iniciales del efluente para su posterior análisis de laboratorio, se determinaron los primeros resultados para posteriormente comparar con los resultados finales.

En el capítulo 3, se realizó la puesta en marcha del reactor, se procedió a la toma de muestra inicial para su posterior tratamiento en el reactor, se establecieron dos ciclos donde se realizaron las fases de llenado, aireado, sedimentación, vaciado y reposo. Luego de la finalización de los ciclos de

tratamiento, se realizó la toma de muestra de descarga para análisis de laboratorio de los parámetros establecidos.

En el capítulo 4, se estableció la discusión de los resultados, cabe indicar que se lograron resultados significativos, al comparar los análisis iniciales con los finales los parámetros principales de descarga como: DQO, DBO₅, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y turbidez, determinaron que el reactor diseñado obtuvo una eficiencia positiva, lo que da como conclusión que este tipo de reactores aerobios son una excelente alternativa, sobre todo su bajo costo de instalación es rentable para el mundo empresarial industrial, se da por satisfecho, que estos sistemas sin lugar a duda son los más convenientes para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.

Por último, se dan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la Investigación

Al realizar la presente investigación se logró encontrar el siguiente estudio en Guatemala: *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para El Municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz*, este tuvo por objetivo el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio mencionado. Asimismo, se efectuó un análisis fisicoquímico y microbiológico del efluente a tratar y se determinó la carga contaminante del agua residual para su diseño adecuado. La remoción de contaminantes lograda por el sistema cumplió con los límites máximos permisibles de descarga a cuerpos receptores que hace énfasis al Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos (Morán, 2014).

En otros países se hallaron varios proyectos que tienen similitud con el tema a analizar, los cuales se presentan a continuación:

En el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Mijaylova y Soriano (2009) realizaron la investigación sobre *el uso de un producto biotecnológico en el tratamiento aerobio de aguas residuales*. El proceso utilizado en este estudio fue un tratamiento aeróbico para tratar efluentes domésticos.

El efluente experimental, mostró valores de DQO desde 175 hasta 912 mg/l, SST entre 120 y 210 mg/l y un pH entre 7.0-7.5. Los resultados obtenidos lograron una remoción de DQO en un 3.0- 7.9 % y reduciendo la concentración de la DQO del efluente en unos 10-23 mg/l. Se obtuvo una eficiencia en el reactor

casi de 90 %. Los resultados en el tratamiento de efluente industrial fueron positivos, una concentración inicial de DQO de 440-480 mg/l, al implementar el tratamiento se obtuvo como resultado la reducción de 188-216 mg/l (Mijaylova y Soriano, 2009).

En la investigación titulada *Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclabl e a escala piloto*, se tuvo por objetivo determinar el porcentaje de remoción o eliminación de materia orgánica presente en el agua residual sintética con un filtro aerobio a sus mejores condiciones de caudal y medio filtrante. El sistema está basado en la biopercolación que consiste en el paso del fluido de forma lenta a través de un material con una superficie detallada, en la que los microorganismos aerobios y anaerobios constituyen una pared biológica, con la finalidad de degradar la materia orgánica. Mediante los resultados alcanzados en el proyecto, el sistema planteado fue eficiente para la eliminación o remoción de la materia orgánica, “El agua residual inicial tuvo una concentración de 360 mg/L y, el efluente tratado obtuvo un resultado de 52,2 mg/L, lográndose una remoción total igual a 85,5 %” (Manzanares y Ricaldi, 2017, p. 15).

Mencionan, Muñoz, Reina y Aldás (2016) en el artículo titulado *Evaluación de un reactor aerobio piloto con medio de soporte de polietilenterftalato (PET) para tratamiento de efluente lechero*, que se realizó la instalación de un reactor piloto de flujo pistón aerobio horizontal, con medio de soporte PET (polietilenterftalato), reciclado de botellas plásticas para el tratamiento de un sustrato sintético elaborado a partir de suero lácteo, con concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) entre 800 y 2100 mg/L. Utilizaron un agente inoculante bacteriano con el efluente a tratar.

Se determinaron eficiencias de remoción de materia orgánica del 62.2 %, 85 % y 94 %, se realizó un análisis de la biomasa generada en el interior del reactor, obteniendo un valor de 11560 mg/L, el cual es mayor al valor de los sistemas convencionales. (Muñoz, Reina y Aldás, 2016, p. 14)

Como se muestra en la investigación, *Planta de lodos activados: tipo bioreactor para tratamiento de aguas residuales para campamentos mineros* el proyecto tuvo como objetivo construir plantas portátiles para tratar efluente de una empresa minera y petrolera, que está ubicada en un espacio que no cuenta con acceso a red de alcantarillado público y para evitar la contaminación de la flora y fauna. El efluente previamente se sedimenta en tanques donde se separan los sólidos que decantan, se procede al realizar el proceso de tratamiento en el bioreactor, donde se degrada la materia orgánica y continua con una nueva sedimentación, para proceder a su descarga.

Los resultados obtenidos en la investigación dieron a conocer que los parámetros fisicoquímicos y biológicos arrojaron en el rendimiento de la planta los siguientes datos: de un 70 % a un 90 % de remoción del DQO, de un 85 % a un 99 % de remoción de DBO, de un 85 % a un 99 % en sólidos suspendidos totales, de un 60 % a un 90 % de nitrógeno, de un 20 % a un 70 % de fósforo y de un 90 % a un 95 % de coliformes fecales (Aliendre, 2011).

1.2. Caracterización del agua residual

La caracterización del agua residual se establece mediante la cantidad total de sólidos existentes conocidos como materia orgánica en suspensión, donde se puede encontrar materia sedimentable, materia coloidal y materia disuelta. Asimismo, podemos encontrar otras características físicas en el agua que son

sumamente importantes como: el olor, la densidad, la temperatura, la turbidez y el color.

Al hablar de agua residual la primera pregunta que se hace es ¿qué tipo de contaminante contendrá y qué tratamiento es idóneo para la misma?, por tal motivo es importante la caracterización para establecer el grado de contaminación. La principal alternativa de tratamiento para efluentes es la utilización de procesos biológicos, ya que estos tratamientos son los más conocidos y eficaces, su bajo costo de implementación y funcionamiento lo hace ver más atractivo para la industria, la vital ventaja en estos procesos es la baja cantidad de residuos y todo el proceso se ejecuta en un mismo equipo (Tuset, 2019).

Al dar a conocer el tipo de contaminación que contiene el efluente mediante la caracterización, determinará una amplia variedad de información sobre el tipo y concentración existente en el agua. Los parámetros principales que deberán ser analizados serían el pH y conductividad, los que darán una idea del contenido de materia orgánica, de tal manera, la cantidad de oxígeno disuelto-DQO, suma de oxígeno consumido por las bacterias o microorganismos preexistentes en el efluente-DBO, nutrientes como el fósforo y nitrógeno, sólidos en suspensión entre otros como: metales, tensioactivos, sulfatos, cianuros, entre otros (Tuset, 2019).

Tabla I. Composición del agua residual doméstica no tratada

Constituyentes	Concentración (mg/L)		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales:			
Disueltos totales	1200	720	350
Fijo	850	500	250
Volátiles	525	300	145
En suspensión totales	325	200	105
Fijo	350	220	100
Volátiles	75	55	20
Sólidos sedimentables (mL)	275	165	80
	20	10	5

Continuación de la tabla I.

Demanda Química de Oxígeno, 5días	20°C	400	220	110
Carbono orgánico total (COT)		290	160	80
Demanda Química de Oxígeno (DQO)		1000	500	250
Nitrógeno total		85	40	20
 Orgánico		35	15	8
 Amoniaco libre		50	25	12
 Nitrito		0	0	0
 Nitrito		0	0	0
Fosforo		15	8	4
 Orgánico		5	3	1
 Inorgánico		10	5	3
Cloruros		100	50	30
Alcalinidad (como CaCO₃)		200	100	50
Grasas		150	100	50

Fuente: Manzanares y Ricaldi (2017). *Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclabl e a escala piloto*. Consultado el 19 de julio de 2021. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3778/Manzanares%20Palacios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

1.2.1. Caudal

El caudal de agua residual es de suma importancia porque es el que establece la cantidad de efluente a tratar, el mismo es variable en la industria y depende del tiempo de producción. Las aguas residuales se clasifican según su origen y estás pueden ser:

- Aguas domésticas o urbanas: son aguas procedentes de la actividad humana y resultan por acciones domésticas, industriales, comerciales y agrícolas, así como recoger agua de lluvias y por drenaje.
- Aguas industriales: estas aguas proceden de la actividad industrial, su carga contaminante es mucho más alta que las aguas domésticas, ya que contiene agentes tóxicos y cancerígenos que afectarían gravemente la

salud, también sus componentes dependen del tipo de actividad que realice la industria.

- Aguas pluviales: estas se generan por la lluvia, nevada, granizo entre otros. Son aguas que contienen baja carga contaminante procedente de la atmósfera o por la utilización de productos químicos para la limpieza de vías urbanas y rurales.
- Aguas agrícolas: estas aguas se producen por las actividades agrícolas y ganaderas, las cuales también contienen aguas domésticas y componentes químicos por la utilización de fertilizantes, agentes cancerígenos y tóxicos entre otros.

1.2.2. Parámetros de calidad del agua

La composición o calidad del agua siempre se basa en su concentración y la cantidad oxígeno disuelto en la misma, que conlleva a una cadena de compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual, los parámetros para medir la calidad del agua son los siguientes:

- DQO: demanda química de oxígeno, es la que expresa la cantidad de oxígeno disuelta en el agua y se mide mediante la concentración de materia orgánica preexistente en el agua para la sobrevivencia de microorganismos.
- DBO: demanda biológica de oxígeno, expresa la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos para la disminución de la materia orgánica.

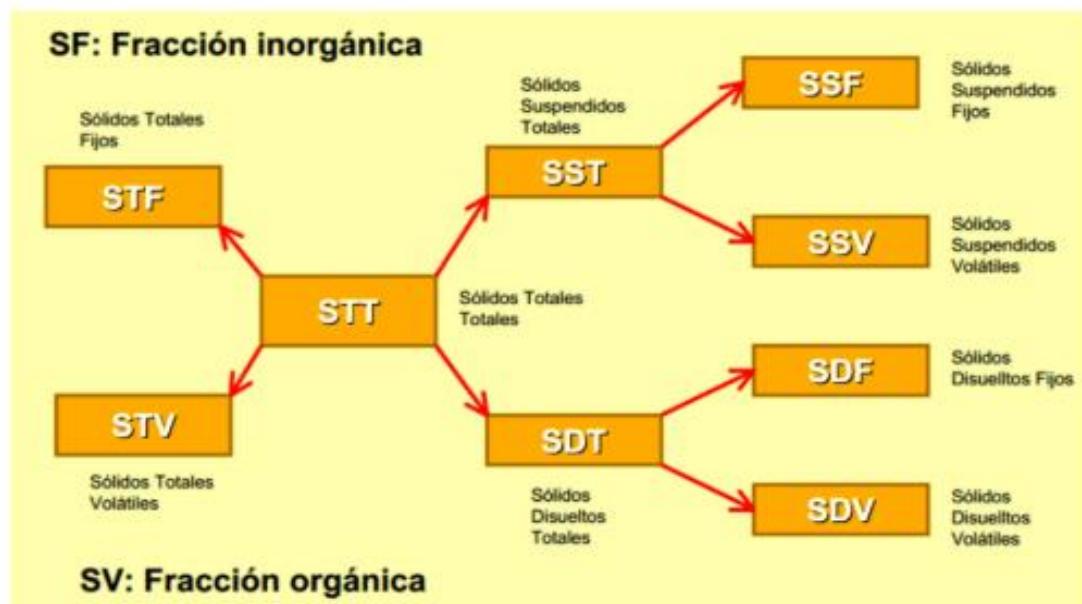
- COT: expresa la cantidad de carbono orgánico total presente en el agua residual.
- Alcalinidad: concerniente con el pH, es la que se encarga de la inspección de los procesos biológicos del tratamiento de efluentes, para óptimo desarrollo de los microorganismos, que son los responsables de la disminución de la materia orgánica.
- Conductividad: es la medida indirecta de las sales concentradas y donde se expresa la cantidad de iones disueltos en el agua.
- Nitrógeno total (NKT): cabe mencionar que, los nutrientes en el agua son esenciales para el metabolismo de los microorganismos ya que forman parte de él, son fundamentales en el inicio de la cadena alimenticia acuática, porque estimulan el crecimiento de seres vivos existentes en el agua, como lo es el fitoplancton y su posteriormente desarrollo de peces y crustáceos. Cuando se contamina los cuerpos hídricos ocasionan problemas de contaminación y eso tiene gran relación la cantidad total de nitrógeno encontrado en el agua residual, los que se presentan en cuatro formas:
 - N orgánico: químico que se encuentra en compuestos orgánicos provenientes de las heces fecales.
 - NH_4^+ : es la mezcla del nitrógeno orgánico y agua, que da como resultado nitrógeno amoniacial.
 - NO_2^- : el nitrógeno amoniacial se oxida y se convierte en nitritos, esto se debe por la presencia de oxígeno y bacterias nitrificantes, su

transformación es extremadamente lenta y por consiguiente la limitante de reacción.

- NO_3^- : al realizarse la conversión de nitrógeno amoniacial en nitritos, este rápidamente se oxida a nitratos.
- Sin embargo, el nitrógeno durante sus distintas formas de transformación natural, está regulada por un ciclo¹⁴ que abarca seis procesos, los cuales son:
 - Fijación del N
 - Reducción desasimilativa de nitrato a amonio
 - Amonificación
 - Oxidación anaerobia a amonio
 - Nitrificación
 - Desnitrificación
- Fósforo (P): es la concentración de fósforo que se encuentra presente en el agua residual. Este compuesto es uno de los nutrientes principales para los microorganismos.
- Sólidos: es la cantidad de sólidos presente en el agua residual, estos conjuntamente con la materia orgánica son los principales contaminantes del agua, estos se clasifican en:
 - Sedimentables y no sedimentables: estos son eliminados mediante el tratamiento primario.

- Suspensión: son los que quedan retenidos en los filtros utilizados, por lo general se usan los de 0,45 micras.
- Disueltos: estos son los que traspasan los filtros.
- Orgánicos: estos se transforman mediante la combustión en dióxido de carbono y vapor de agua a 550 °C
- Volátiles e inorgánicos: estos sólidos permanecen a 550 °C.

Figura 1. Clasificación de los sólidos en las aguas



Fuente: Lozano (2012). *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales*.

- Turbidez: la presencia de los sólidos en suspensión está enlazada a la concentración del efluente y es la que expresa el grado de dispersión en una muestra de agua.

1.2.3. Toma de muestras

La toma de muestra del efluente dependerá de los procedimientos analíticos empleados y de los objetivos del estudio. La toma de muestra tiene como objetivo obtener un muestreo característico para su estudio que en este caso sería el agua residual utilizada en el tratamiento biológico, para la cual se realizará el análisis de los parámetros fisicoquímicos de interés. La muestra se debe guardar y transportar en un recipiente refrigerado para luego ser entregado al laboratorio para su respectivo análisis (Instituto de Toxicología de la Defensa, 2016).

1.3. Tipos de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales es la que evaca sólidos, reduce su carga contaminante y materia orgánica, mediante el tratamiento se restaura la presencia de oxígeno en el efluente. Los sólidos presentes también contienen partículas sólidas en el agua, mientras que la disminución de carga contaminante y materia orgánica se realiza mediante el uso de bacterias y otros microorganismos que se usan para consumir la materia orgánica del efluente convirtiéndose en un proceso biológico donde se busca obtener suficiente oxígeno para sostener la vida microbiológica. Para la reducción de concentraciones contaminantes se encontraron varios tipos de tratamientos de aguas residuales estos se hallan en cuatro bloques: pretratamientos, tratamientos químicos o primarios, tratamientos biológicos o secundarios y tratamiento terciario.

1.3.1. Pretratamientos

Este pretratamiento conlleva procesos físicos y tiene como objetivo principal la eliminación de objetos gruesos, arenas y grasa, mediante operaciones básicas

como el desbaste, tamizado, desarenado y desengrasado de esta manera se evita atasco y daños a los equipos, tuberías, bombas entre otros, con este proceso se logra obtener un buen funcionamiento de los equipos.

El desbaste, es la separación y retención de los sólidos gruesos que pasan por las rejillas o tamiz antes del ingreso del efluente al equipo, mediante este procedimiento se logra la eliminación de sólidos gruesos y finos, debido a esa separación el corriente de entrada continúa su cauce al tratamiento (Farrás, 2017).

Con el proceso de desarenado y desengrasado se puede realizar en el mismo equipo o en uno separado, en este proceso se separa la arena y la grasa existente en el efluente de la corriente de entrada. Es importante esta separación dado que estos sólidos pueden provocar deficiencias en el proceso y eso afectaría a la eficiencia del equipo (Farrás, 2017).

1.3.2. Tratamientos primarios

Los tratamientos primarios son procesos físicos y químicos y tienen como finalidad la eliminación de materia sedimentable y flotante o a su vez la remoción de la mayor cantidad de materia orgánica, mediante decantación primaria de los sólidos en suspensión existentes en el agua residual de entrada, tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación), con el único objetivo de evitar que llegue al reactor biológico y esté ingrese libre de sólidos que podrían afectar el tratamiento. En el tratamiento primario se dan dos operaciones:

- Coagulación-floculación: en este proceso se realiza la adición de un electrolito, esto provoca romper el equilibrio coloidal en los sólidos suspendidos mediante el coagulante. En el caso de la adición de un

polímero realiza la agrupación de sólidos en flóculos (floculante). Mediante el proceso se agregan de forma continua.

- Decantación primaria: este proceso se da una vez formados los flóculos de los sólidos suspendidos desde la coagulación-floculación, el influente entra al decantador primario, donde permanece el tiempo indispensable para que se sedimenten los sólidos. De esta forma en el equipo se obtienen dos corrientes de salida, por un lado, la del fango sedimentado y por otro la del efluente.

1.3.3. Tratamientos biológicos

Los tratamientos secundario o biológicos son procesos biológicos que tienen como objetivo la remoción o eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal en el agua residual, mediante este proceso se da la degradación bacteriana y decantación secundaria, dando como resultado la eliminación de patógenos y otros elementos contaminantes, una vez se obtenga el agua residual libre de sólidos suspendidos llamada también materia soluble, se procede a la degradación de la materia, este tratamiento se realiza en uno o dos equipos independientes.

Mediante el reactor biológico se produce la degradación de la materia disuelta en el agua residual mediante microorganismos y aireación. En el contenido del reactor se encuentran el licor de mezcla que contiene los microorganismos, al ingresar el efluente y comenzar la aireación se produce la degradación de la materia orgánica. Dependiendo del equipo se puede hallar una corriente de salida y dos de entrada, una del influente a depurar y la otra del fango recirculado del decantador secundario, en otros casos en el mismo equipo ocurre la etapa de degradación y decantación (Farrás, 2017).

1.3.4. Tratamiento terciario

Mediante este proceso se realiza la eliminación de sólidos suspendidos, materias orgánicas, patógenas y nutrientes. Este proceso se cataloga como opcional, mediante este tratamiento se realiza procesos físicos, químicos y biológicos donde podemos encontrar procesos básicos como la floculación, filtración, eliminación de nitrógeno y fósforo y desinfección, es la etapa final donde el agua residual ya cumple con los límites de vertido permitidos en la legislación de cada país.

Tabla II. Principales procesos de tratamiento biológicos utilizados para tratamientos de aguas residuales

TIPO	NOMBRE COMÚN
Procesos aerobios	
Crecimiento en suspensión	Procesos de lodos activados Lagunas aireadas Digestión aerobia
Película bacteriana adherida	Filtros aerobios Sistemas biológicos de contacto rotatorio Reactor de lecho empacado
Híbrido (combinación)	Filtros aerobios / Lodo activado Humedales artificiales
Proceso de crecimiento en suspensión y de película bacterial adherida	
Procesos anóxicos	
Crecimiento en suspensión	Desnitrificación por crecimiento en suspensión
Película bacterial adherida	Desnitrificación por película fija
Procesos anaerobios	
Crecimiento en suspensión	Procesos de contacto anaerobio Digestión anaerobia
Película bacterial adherida híbrida	Lecho anaerobio fijo Proceso anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente Reactor de manto de lodos / Reactor de lecho fijo

Continuación de la tabla II.

Procesos aerobios, anóxicos y anaerobios combinados	Procesos simples de o de múltiples etapas, diferentes procesos propios
Crecimiento en suspensión	
Crecimiento combinado en suspensión y película bacterial adherida	Procesos simples o de múltiples etapas
Procesos en lagunas	
Lagunas aerobias	Lagunas aerobias
Lagunas de maduración (terciarias)	Lagunas de maduración (terciarias)
Lagunas facultativas	Lagunas facultativas
Lagunas anaerobias	Lagunas anaerobias

Fuente: Manzanares y Ricaldi (2017). *Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclabl e a escala piloto*. Consultado el 19 de julio de 2021. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3778/Manzanares%20Palacios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

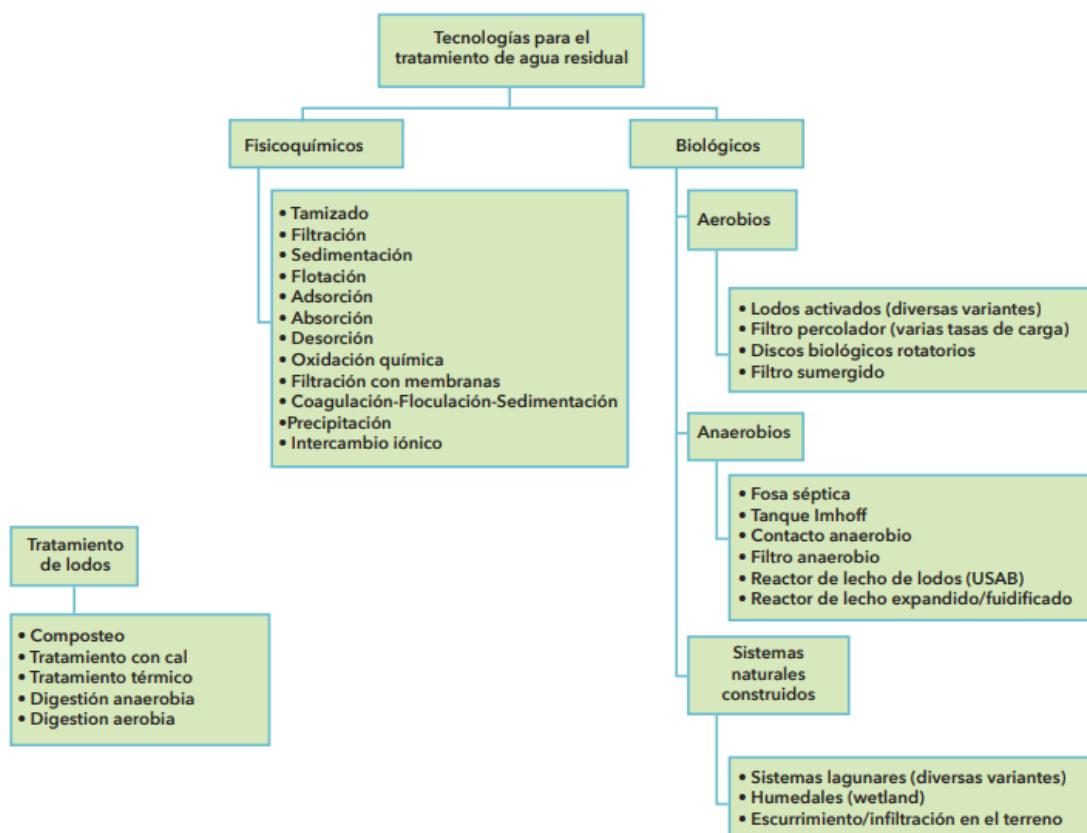
1.3.5. Equipos utilizados para tratamientos de aguas residuales

Los equipos comúnmente utilizados en los tratamientos de aguas residuales son los siguientes:

- Reactores discontinuos secuenciales (SBR) donde se realiza un proceso biológico y se busca la eliminación de materia orgánica disuelta mediante degradación bacteriana y decantación.
- Lagunas de estabilización aireadas: donde se producen la degradación de la materia orgánica mediante la fusión de bacterias y algas, donde se consume la materia orgánica y oxígeno produciendo CO₂, luego al ser consumido ese CO₂ se produce oxígeno a través de la fotosíntesis (Noyola, Morgan y Guereca, 2013).

- Reactor biológico empacado no sumergido: este sistema se realiza mediante aireación de forma natural, es decir, que el aire se desliza entre el ambiente interno y externo del reactor por medio del empacado debido a diferencia de temperaturas. La gran diferencia de los SBR es que estos no usan sistema de aireación donde hay consumo de energía. Mediante estos tratamientos es posible obtener una remoción significativa de contaminantes (Noyola, Morgan y Guereca, 2013).

Figura 2. Clasificación esquemática de los procesos para el tratamiento las aguas residuales



Fuente: Noyola, Morgan y Guereca (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales.*

1.4. Reactores biológicos secuenciales (SBR)

Funcionan por etapas y es el más conocido debido a sus ventajas. Dentro del equipo se pueden realizar diferentes operaciones, esto conlleva a que si en el mismo equipo se puede realizar todo el proceso de tratamiento se reducen significativamente los costos de construcción y funcionamiento.

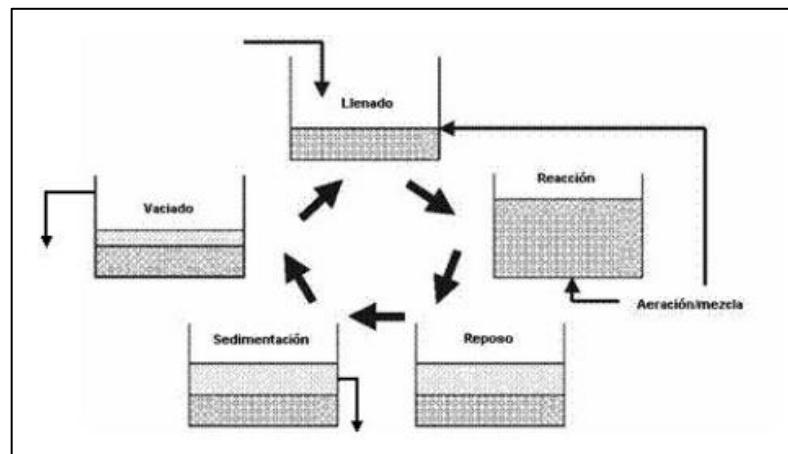
1.4.1. Definición

Los SBR o reactores discontinuos son reactores discontinuos donde se realiza un proceso biológico para el agua residual, en este reactor se realiza la mezcla del efluente con un lodo biológico en un ciclo aireado. Este proceso tiene la particularidad que se realiza en el mismo equipo los procesos de reacción, aeración y clarificación. Al emplearse en el mismo equipo reduce elocuentemente la inversión en su diseño, construcción y puesta en marcha. Este tipo de reactores son eficientes y obtienen buenos resultados en los tratamientos de aguas residuales y cabe indicar que su manejo y control de operación es uno de los más fáciles.

1.4.2. Operación reactores discontinuos secuenciales

El sistema de maniobra de los SBR para el tratamiento de efluentes se realiza en 5 etapas:

Figura 3. **Etapas de un ciclo de operación de un SBR**



Fuente: Álvarez (2006). *Etapas de un ciclo de operación de un SBR*. Consultado el 3 de mayo de 2021. Recuperado de https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/41/41313/aplicacionesbraguas_domesticas.pdf.

- La etapa de llenado: después de realizar el filtrado de sólidos gruesos y finos sigue la etapa de llenado donde se añade el efluente en el SBR. Esta fase se lleva a cabo en unos 5 minutos y se debe mantener encendido los agitadores para garantizar una correcta homogeneización de la mezcla.
- Etapa de reacción: en esta fase se produce la degradación de la materia orgánica, se enciende los equipos de aireación para que los microorganismos existentes en el reactor dispongan del oxígeno necesario para que realicen el proceso de degradación, asimismo se debe mantener una agitación permanentemente a los sólidos suspendidos en el interior del reactor y mediante este proceso que llevaría un tiempo cercano a 6 horas permitirá el consumo de sustrato en ambientes controlados.

- Sedimentación: una vez haya concluido la etapa de reacción se deja reposar el agua residual aproximadamente 1 hora permitiendo la separación por capas del licor de mezcla y el efluente ya tratado, como resultado se obtiene un efluente más claro.
- Vaciado: en esta etapa se extrae el efluente tratado del SBR, se toma una muestra para análisis de la misma para analizar si esta cumple con los parámetros establecidos para realizar su descarga, también se realiza la remoción del exceso de lodo activado.
- Reposo: normalmente esta etapa se establece entre el llenado y vaciado para asegurar que ambas etapas no provoquen error en el siguiente ciclo de operación en el SBR.

1.4.3. Eficiencia del proceso de SBR

La tecnología SBR, son sistemas sumamente eficientes e importantes para el tratamiento de efluentes domésticos e industriales y este se ha posicionado a nivel mundial en los últimos años, esto se debe a su bajo costo de instalación, funcionamiento, facilidad de manejo y control de operación, el poco espacio que ocupa y la remoción de carga contaminante en un solo equipo. Asimismo, la remoción de nitrógeno, fósforo y carbono. En el SBR se realiza diferentes fases como: la aerobia, anaerobia y anóxica, mediante estas fases se demanda de un estudio adecuado y una debida planificación por medio de los operadores en este tipo de sistemas (Muñoz y Ramos, 2014).

Para tener una referencia de los diferentes tipos de reactores, sus procesos y el porcentaje de eficiencia que tiene cada equipo lo podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla III. Tratamiento de agua residual (AR) mediante un SBR

Tipo de Reactor/proceso	Tipo de efluente	Eficiencia
Convencional aerobio – anóxico	AR - sintética	Eliminación del 97 % en DBO
Convención anóxico-aerobio	AR - sintética	Eliminación del 96 % en DBO 40 % en NT, 40 % en PT
Convencional anaerobio-anóxico-aerobio	AR - sintética	Eliminación 70 % en PT y del 90 % en NT
Convencional Anaerobio-aerobio-anóxico	AR - doméstica	Eliminación del 92 % en DBO, 52 % NKT y 67 % PT
Convencional Aerobio	AR - sintética	Eliminación de 90 % en PT
Biopelícula Anaerobio-aerobio	AR - sintética	Eliminación 97 % en PT y del 73 % en NT
Biopelícula Aerobio-anaerobio	AR - sintética	Eliminación del 90 % en N-NH ₃ , 87 % en PT y 95 % en DQO.
Biopelícula Anaerobio-aerobio	AR - sintética	Eliminación del 90 % en PT y 57 % en NT
Biopelícula Aerobio	AR- industria láctea	92 % en DBO, 94 % en DQO y 73 % en NT
Biopelícula Anaerobio- anóxico-aerobio	AR - sintética	Eliminación del 77 % en NT y del 33 % en PT
Biopelícula Aerobio-anaerobio	AR - sintética	Eliminación 98 % en DQO, 60 % en NT y 80 en PT
Convencional Aerobio-anaerobio	Lixiviado maduro	Eliminación del 90 % en NT
Convencional Aerobio	Lixiviado medio	Eliminación del 84 % en DQO, 44 % en N-NH ₄ ⁺
Convencional Anaerobio-aerobio	Lixiviado joven	Eliminación del 62 % en DQO, 31 % en N-NH ₄ ⁺ y 19 % en P-PO ₄ ³⁻
Convencional Aerobio	Lixiviado joven	Eliminación del 95 % en NT
Convencional Aerobio-anaerobio	Lixiviado maduro	Eliminación del 98 % en DQO, 80 % en NKT
Convencional Aerobio-anaerobio	Lixiviado maduro	Eliminación del 96 % en N-NH ₄ ⁺ y 84 % en DQO.
Convencional	Industria textil	Eliminación del 64 % en DBO, 50 % en NKT
Convencional Aerobio	Sintética Industria petroquímica	Eliminación del 70 % en DQO, 83 % en Hg y 97 % en Cd
Convencional Aerobio	Semiconductores eléctricos	Eliminación del 95 % en DQO
Convencional	Acuacultura Estiércol Industria Alimentos Industria química	80 % en DQO, 60 % NT, 85 % PT 12 % DQO, 20 % NT, 55 % PT 70 % DQO, 45 % NT, 45 % PT 48 % DQO, 45 % NT, 20 % PT
Convencional Aerobio	Industria de Coque	Eliminación de 90 % en N-NH ₄ ⁺ , 69 % en DQO

Fuente: Muñoz y Ramos (2014). *Experiencias en el tratamiento de AR con SBR*. Consultado el 11 de Octubre de 2021. Recuperado de <https://revistas.unimilitar.edu.co/plugins/generic/pdfJsViewer/pdf.js/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frevistas.unimilitar.edu.co%2Findex.php%2Frcin%2Farticle%2Fdownload%2F7%2F5%2F>.

1.5. Marco legal

En la República de Guatemala, existe un marco legal ambiental a través de su Constitución Nacional, donde se expone como interés nacional la protección, conservación y mejoramiento del patrimonio natural de todo el territorio guatemalteco.

El Estado deberá fomentar la creación de parques nacionales, reservas y refugios naturales, los cuales son privativos. Mediante las leyes se garantizará la protección de la fauna y la flora existente, su política ambiental es aplicada mediante la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, que tiene como finalidad velar por el equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente en beneficio de todos sus habitantes.

1.5.1. Legislación vigente en Guatemala

Mediante el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos concerniente al Acuerdo Gubernativo 236-2006 del 5 de mayo del 2006, bajo la conformidad de la *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*, por el cual se establece que el Gobierno Nacional deberá emitir los reglamentos y disposiciones para controlar, el beneficio y uso de las aguas y a su vez vigilar y prevenir los niveles de contaminación de los cuerpos hídricos existentes en el territorio guatemalteco (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

El acuerdo fue dirigido con el objetivo de proteger los cuerpos hídricos de los diferentes impactos ambientales causados por la actividad humana y para recuperar el recurso hídrico que realizan proceso de eutrofización.

1.5.2. Parámetros permisibles

De acuerdo con la normativa vigente mediante el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, establece los parámetros que se deben medir para analizar la calidad del efluente de descarga, los parámetros medibles son los siguientes:

- Temperatura
- Color
- pH
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda química de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno a veinte grados Celsius a los cinco días
- Nitrógeno total
- Arsénico
- Fósforo total
- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Coliformes fecales

Tabla IV. Reducción progresiva de cargas de la demanda bioquímica de oxígeno

Etapa		Uno				
Fecha máxima de cumplimiento		Dos de mayo de dos mil once				
Duración, años		5				
Carga, kilogramos por día		3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
Reducción porcentual		10	20	30	35	50
Etapa		Dos				
Duración, años		4				
Fecha máxima de cumplimiento		Dos de mayo de dos mil quince				
Carga, kilogramos por día		3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
Reducción porcentual		10	20	40	45	50
Etapa		Tres				
Fecha máxima de cumplimiento		Dos de mayo de dos mil veinte				
Duración, años		5				
Carga, kilogramos por día		3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
Reducción porcentual		50	70	85	90	
Etapa		Cuatro				
Fecha máxima de cumplimiento		Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración, años		4				
Carga, kilogramos por día		3000<EG<4000		4000≤EG<7000		
Reducción porcentual		40		60		

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos*.

Tabla V. **Parámetro de calidad de la demanda bioquímica de oxígeno**

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
Parámetro	Dimensional	Valor inicial	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demandra bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	3500	1500	750	450	200

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos.*

En su artículo 20 del Acuerdo Gubernativo presenta y contempla los límites máximos permitidos de calidad del agua para su descarga a los cuerpos hídricos.

Tabla VI. **Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público**

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	180	150	80	40
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁸	< 1x10 ⁶	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴

Continuación de la tabla VI.

Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos.*

Mediante el capítulo IX sobre seguimiento y evaluación se establece en su artículo 49 que, se deberá tomar obligatoriamente como mínimo dos muestras anuales de agua residual para medir la calidad del agua de acuerdo con los parámetros establecidos. Asimismo, en su capítulo X-prohibiciones y sanciones en los artículos 55 al 57 se prohíbe descargar aguas residuales directamente sin tratar, la dilución de aguas residuales previo a su descarga.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales resolvió que, mediante el acuerdo con el instrumento de diagnóstico ambiental, para la categoría B1, donde se otorga la licencia ambiental para la industria, conviene cumplir los siguientes compromisos:

- Cumplir en su totalidad el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y presentar los registros de análisis microbiológicos y fisicoquímicos.
- Las aguas de purga de las calderas deben ser sometidas a un tratamiento de aguas especiales.

El cumplimiento de los acuerdos se convierte en una obligatoriedad para el funcionamiento de las industrias que conlleva a la obtención de la licencia ambiental, eventualmente la licencia puede ser auditada en inspecciones no anunciadas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, deberá mostrarse evidencia del cumplimiento para evitar incurrir en sanciones, multas o cierre de operaciones según sea la gravedad de la falta.

1.5.3. Manejo de lodos

Al realizar la remoción de la carga contaminante de aguas residuales mediante tratamiento biológico para proceder con la descarga siempre y cuando cumpla con los parámetros establecidos. Sin embargo, al implementar estos tratamientos derivan de los mismos la formación de lodos residuales, los cuales deben tener un tratamiento idóneo para su posterior utilización o desecho. El lodo residual debe pasar por un proceso fisicoquímico para determinar su caracterización y composición, mediante el cual se comprobará si el lodo residual es un residuo peligroso o no peligroso y así establecer un buen manejo de los lodos resultantes (Oropeza, 2006).

Tabla VII. **Composición de lodos activados**

<i>Parámetros</i>	<i>Lodos primarios</i>	<i>Lodos secundarios (mezcla)</i>	<i>Lodos digeridos</i>
pH	5.5-6.5	6.5-7.5	6.8-7.6
Contenido de agua (%)	92-96	97.5-98	94.97
ssv (%ss)	70-80	80-90	55-65
Grasas (%ss)	12-14	3-5	4-12
Proteínas (%ss)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (%ss)	8-10	6-8	5-8

Continuación de la tabla VII.

Nitrógeno (%ss)	2-5	1-6	3-7
Fósforo (%ss)	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Bacterias patógenas (NMP/100ml)	10 ³ -10 ⁵	100-1000	10-100
Metales pesados (%ss)			
(Zn, Cu, Pb)	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Fuente: Oropeza (2006). *Lodos residuales: estabilización y manejo*. Consultado el 11 de octubre de 2021. Recuperado de http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_1_21-30_2006.pdf.

El tratamiento de los lodos residuales se centra en lograr una degradación inspeccionada de las sustancias orgánicas que este contiene, la eliminación de olores y la disminución del volumen e inactivación de organismos patógenos que derivaría a una posible utilización o disposición final.

Tabla VIII. Tratamientos y métodos para los lodos residuales

Tratamiento	Métodos empleados
Operaciones previas	Bombeo, trituración, desarenado, homogeneización
Espesamiento	Gravedad, flotación, centrifugación, filtros de bandas
Estabilización	cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia y aerobia
Deshidratación	filtraciones, centrifugación, secado
Desinfección	pasteurización, química, almacenamiento de larga duración
Acondicionamiento	Químico, térmico
Secado térmico	En Hornos, incineración, evaporadores múltiples
Compostaje	Biológico aerobio

Fuente: Diaz, Veliz y Bataller (2015). *Tratamientos de lodos, generalidades y aplicaciones*.

Consultado el 3 de mayo de 2021. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>.

Se describe a continuación los tratamientos y métodos para los lodos residuales que se utilizan:

- Espesamiento: en este proceso se da directamente en el tanque de almacenamiento del lodo residual y se logra una disminución de volumen del lodo de un 30 % a un 80 %.
- La estabilización: tratamiento biológico con aireación prolongada para eliminación de carga contaminante, mediante la oxidación húmeda y estabilización térmica de los lodos, bajo temperatura y presión elevadas se logra una disminución del 30 % al 35% de los sólidos suspendidos, como también la reducción de patógenos y malos olores.
- El acondicionamiento: este proceso se realiza posterior a la estabilización y tiene como objetivo facilitar la aglomeración de sólidos para liberar la mayor cantidad de agua antes del proceso de deshidratación.
- Secado térmico: mediante este proceso se reduce el peso y se logra eliminar organismos patógenos, este procedimiento se realiza mediante la evaporación del agua existente en los lodos por calentamiento en hornos, incineración y exposición al sol.
- La desinfección: es el proceso final del tratamiento, donde se emplea la eliminación de los organismos patógenos mediante la pasteurización y el almacenamiento a largo plazo.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Consolidación de datos iniciales del análisis de agua residual

En la presente investigación se determinaron los parámetros para su posterior estudio y conocer el punto de partida mediante el análisis del agua residual a tratar durante 1 semana. Esto con la finalidad de tener una referencia de las condiciones de la descarga. El análisis de estos datos históricos se resume en la tabla IX.

Tabla IX. Parámetros iniciales del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II

Análisis	Dimensional	Resultados	LMP
Color	u Pt-Co	146	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	97	200
Fósforo Total	mg/L - P	4.50	10
Grasas y Aceites	mg/L	12	10
Materia Flotante	---	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	22.60	20
pH (in-situ)	---	7.77	6 a 9
Sólidos Suspendidos	mg/L	80.00	100
Temperatura (in-situ)	°C	23.3	TCR +/- 7
Coliformes fecales	NMP/100ml	1,700,000	< 10,000
Arsénico	mg/L - As	< 0.0007	0.1
Cadmio	mg/L - Cd	< 0.010	0.1
Cianuro	mg/L - CN ⁻	< 0.008	1
Cobre	mg/L - Cu	0.131	3
Cromo (VI)	mg/L - Cr	< 0.01	0.1

Continuación de la tabla IX.

Mercurio	mg/L - Hg	< 0.0006	0.01
Níquel	mg/L - Ni	< 0.154	2
Pbomo	mg/L - Pb	< 0.087	0.4
Zinc	mg/L - Zn	0.097	10

Fuente: elaboración propia, realizado con datos de Laboratorio ECOQUIMSA.

Tabla X. Parámetros iniciales del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Cianuro ⁽⁴⁾	mg/L - CN ⁻	0.008	< 0.008	1	Spectroquant® Merck 09701
Color ⁽⁴⁾	u Pt-Co	2	146	500	STM 2120 C
Demandra Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	4	97	200	COGUANOR NTG 29014h7
Demandra Química de Oxígeno ⁽⁴⁾	mg/L - O ₂	4	273	---	COGUANOR NGO 29014h8
Relación DQO/DBO	---	---	2.8	---	---
Fósforo Total ⁽⁴⁾	mg/L - P	0.02	4.50	10	Spectroquant® Merck 14848
Grasas y Aceites	mg/L	6.94	12	10	COGUANOR NTG 77002h1
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Ausente	Ausente	Organoléptico
Nitrógeno Total ⁽⁴⁾	mg/L - N	0.20	22.60	20	Spectroquant® Merck 14773
pH (in-situ)	---	0.01	7.77	6 a 9	STM 4500-H B
Sólidos Sedimentables	ml/L	0.1	3.0	---	STM 2540 F
Sólidos Suspensos ⁽⁴⁾	mg/L	2.28	80.00	100	STM 2540 D
Temperatura (in-situ)	°C	0.1	23.3	TCR +/-7	STM 2550 B
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1.8	1,700,000	< 10,000	STM 9221 C y E

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades Plataño Cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 21.

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Fuente: elaboración propia, realizado con datos de Laboratorio ECOQUIMSA.

Tabla XI. Parámetros iniciales del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Arsénico	mg/L - As	0.0007	< 0,0007	0.1	STM 3114 C
Cadmio	mg/L - Cd	0.010	< 0.010	0.1	STM 3111 B
Cobre	mg/L - Cu	0.033	0.131	3	STM 3111 B
Cromo (VI)	mg/L - Cr	0.01	< 0.01	0.1	Spectroquant® Merck 14758
Mercurio	mg/L - Hg	0.0006	< 0.0006	0.01	STM 3112 B
Níquel	mg/L - Ni	0.154	< 0.154	2	STM 3111 B
Pbomo	mg/L - Pb	0.087	< 0.087	0.4	STM 3111 B
Zinc	mg/L - Zn	0.092	0.097	10	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm.
(2) LMP: Límite Máximo Permisible según Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Artículo No. 21.
(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

Fuente: elaboración propia, realizado con datos de Laboratorio ECOQUIMSA.

2.1.1. Toma de muestra inicial del agua residual doméstica

El muestreo realizado consistió en la toma de una muestra simple, por el método volumétrico manual. Las muestras fueron tomadas después de completar el ciclo de tratamiento del efluente, que consiste en un juego de tiempo durante una semana, con el fin de igualar las condiciones de toma de muestra del análisis inicial y constatar el consumo de sustrato.

Las condiciones para la toma de muestra y el manejo de las mismas, se realizaron de acuerdo con lo expresado en la tabla XII.

Tabla XII. **Registro de condiciones de manipulación de muestras**

Estado	Cumple (Si/No)	Observaciones
Depósito de vidrio o plástico	SI	
Después de toma de Muestras colocar en refrigeración	SI	Se le agregó un preservante para que la muestra se conserve hasta su análisis
Almacenamiento y traslado dentro de un recipiente hermético.	SI	
Tiempo máximo de 24 horas entre toma de muestra y análisis	SI	
Tiempo máximo de 48 horas entre toma de muestra y análisis	SI	

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Salida de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II**



Fuente: [Fotografía de Inga. Ingrid Angulo]. (Colonia La Aurora II, 2022). Colección particular.
Guatemala.

2.1.2. Medición de condiciones iniciales del efluente

Para determinar los parámetros a los cuales se descarga el agua residual, previo al tratamiento a través del reactor aerobio, se envió una muestra inicial del efluente recolectado para su posterior análisis en el laboratorio acreditado. Los resultados de estos parámetros iniciales se tabulan en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Concentraciones iniciales de la muestra**

Parámetro	Datos
DBO (mg/L)	97
DQO (mg/L)	273
Sólidos sedimentables (mg/L)	3.0
Sólidos suspendidos (mg/L)	80.00

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Toma de muestra inicial de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para pruebas de laboratorio**



Fuente: [Fotografía de Inga. Ingrid Angulo]. (Colonia La Aurora II, 2022). Colección particular.
Guatemala.

Figura 6. **Toma de pH y muestra inicial de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para análisis de laboratorio**



Fuente: [Fotografía de Inga. Ingrid Angulo]. (Colonia La Aurora II, 2022). Colección particular.
Guatemala.

Figura 7. **Muestras iniciales de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para análisis de laboratorio**



Fuente: [Fotografía de Inga. Ingrid Angulo]. (Colonia La Aurora II, 2022). Colección particular.
Guatemala.

2.2. Diseño del reactor

Para el tratamiento del efluente fue utilizado un biorreactor aerobio, sistema que mantiene un ambiente activo de forma biológica, mediante el cual se encuentran presentes microorganismos y por medio de este proceso se logra la remoción y disminución de carga orgánica contaminante existente en el agua residual.

Tabla XIV. **Materiales utilizados, área y dimensión del equipo**

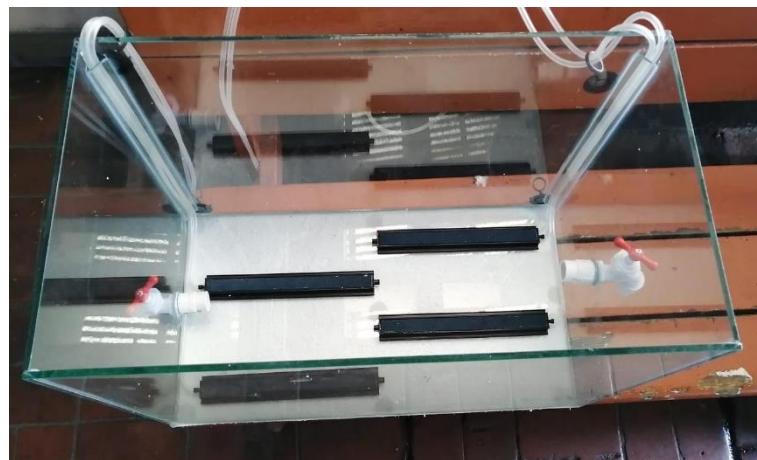
Materiales	Área	Dimensiones	Cantidad	
Láminas de vidrio	0.175 m ²	Espesor 0.6cm Ancho 0.35m Altura 0.35m Base 0.50m	5	
Accesorios	Cantidad			
Ventosas	6			
Mangueras	4			

Continuación de la tabla XIV.

Silicon	Lo necesario	
Difusores	4	
Mezclador	1	
Compresor de aire	2	
Llaves de paso	2	

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Reactor biológico aerobio (SBR) piloto**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Colonia La Aurora II, 2022). Colección particular.
Guatemala.

Como prueba de tratabilidad del efluente fue utilizada la metodología de ensayo a través del reactor aerobio, el cuál es el que permitió simular el tratamiento a escala laboratorio y determinar el tiempo óptimo del ciclo de tratamiento del efluente.

El desarrollo de este estudio se describe a continuación:

2.2.1. Condiciones de operación del reactor

Luego de realizar la construcción del reactor y los estudios iniciales del efluente a tratar, se procedió con la implementación de las fases del tratamiento del mismo, que se detallan a continuación:

- Fase de llenado: antes de verter el efluente en el reactor se realizó el filtrado de sólidos grueso y finos, posteriormente se procedió el llenado

donde se añadió el efluente a tratar en el SBR, este proceso tuvo un tiempo aproximado de 5 minutos, se mantuvieron encendidos los agitadores para garantizar una correcta homogeneización de la mezcla.

- Fase de reacción o aireación: en esta fase se produce la degradación de la materia orgánica, se encendió los equipos de aireación para que los microorganismos existentes en el reactor dispongan del oxígeno necesario para que realicen el proceso, asimismo se mantuvo una agitación permanentemente a los sólidos suspendidos en el interior del reactor y este proceso llevó un tiempo de 24 y 48 horas, lo que permitió el consumo de sustrato en ambientes controlados.
- Fase de sedimentación: una vez concluida la etapa de reacción o aireación se dejó reposar el agua residual aproximadamente 1 hora permitiendo la separación por capas de los sólidos en suspensión y el efluente ya tratado, como resultado se obtuvo un efluente más claro.
- Fase de vaciado: en esta etapa se extrajo el efluente tratado del SBR, se tomó una muestra y se envió a laboratorio para un análisis fisicoquímico y se determinó el cumplimiento de los parámetros establecidos para realizar su posterior descarga, este procedimiento tomó de 10 a 20 minutos.
- Fase de reposo: Normalmente en esta etapa se establece entre el llenado y vaciado un lapso de tiempo de 24 horas y un reposo de 1 hora, para asegurar que ambas etapas no provoquen error en el siguiente ciclo de operación en el SBR.

Finalmente, después del proceso de tratamiento se procedió a realizar la toma de muestra, se ejecutó mediante una muestra simple, tomada desde las 24

y 48 horas de la etapa de reacción o aireación en horas de la mañana, esto con el fin de completar el ciclo de tratamiento del efluente, además, se realizó un juego de tiempo con respecto a la etapa antes mencionada, para constatar el consumo de sustrato y desarrollo de sedimentos en el reactor.

2.3. Operación, costos y resultados de las pruebas

Para elaborar las curvas de consumo de sustrato, se tomó en cuenta las concentraciones utilizadas y los resultados de los parámetros analizados en el laboratorio después del tratamiento a escala laboratorio. Las gráficas se realizaron colocando el crecimiento de sólidos suspendidos contra la disminución de DQO con relación al tiempo transcurrido. Los datos se establecieron en las tablas que se muestran en las tablas XV, XVI, XVII y XVIII.

Tabla XV. **Datos para curva de consumo DBO₅**

Fecha	THR (horas)	Oxígeno (%O₂)	DBO₅ (mg/L)
14/09/2021	48	1.5	39
19/09/2021	24	1.4	28

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Datos para curva de consumo DQO**

Fecha	THR (horas)	Oxígeno (%O₂)	DQO (mg/L)
14/09/2021	48	1.5	70
19/09/2021	24	1.4	77

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Datos para curva de consumo sólidos suspendidos**

Fecha	THR (horas)	Sólidos suspendidos (mg/L)
14/09/2021	48	18.50
19/09/2021	24	10.40

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos sobre costos del reactor y tratamiento**

Ciclos	Reactor Construcción	Agua residual 30 litros	Gasto de energía mensual
1 (24 horas)	Q 1295.00	Q 0.00	Q 8.81
2 (48 horas)	Q 1295.00	Q 0.00	Q 17.62

Fuente: elaboración propia.

2.3.1. **Determinación del porcentaje para la reducción de carga contaminante**

Se determinó el porcentaje de reducción de los parámetros de descarga en la muestra de agua residual, con el tiempo de aireación, donde se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{P_o - P_1}{P_o} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- %R = porcentaje de remoción de la carga contaminante o concentración.

- P_0 = concentración del parámetro inicial
- P_1 = concentración del parámetro después del tratamiento del efluente a escala piloto.

Tabla XIX. **Porcentaje de reducción de carga contaminante**

Parámetro	P_0	P_1	P_2	%Remoción Ciclo 1	%Remoción Ciclo 2
DBO (mg/L)	97	39	28	54.79 %	71.13 %
DQO (mg/L)	273	70	77	74.36 %	72 %
Sólidos sedimentables (mg/L)	3.0	≤ 0.1	≤ 0.1	96.66 %	98 %
Sólidos suspendidos (mg/L)	80.00	18.50	10.40	77 %	87 %
Nitrógeno total (mg/L-N)	22.60	23.70	22.60	0 %	0 %
Arsénico (mg/L-A)	≤ 0.0007	0.0064	0.015	0 %	0 %
Fósforo total (mg/L-P)	4.50	4.20	4.50	30 %	0 %
Cadmio (mg/L-CN)	≤ 0.010	≤ 0.010	0.014	0 %	0 %
Cianuro (mg/L-Cd)	≤ 0.008	≤ 0.008	≤ 0.008	0 %	0 %
Cobre (mg/L-Cu)	0.131	0.082	0.155	0 %	0 %
Cromo VI (mg/L-Cr)	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.01	0 %	0 %
Mercurio (mg/L-Hg)	≤ 0.0006	0.0014	≤ 0.0006	0 %	0 %
Níquel (mg/L-Ni)	≤ 0.154	≤ 0.154	≤ 0.154	0 %	0 %
Plomo (mg/L-Pb)	≤ 0.087	≤ 0.087	≤ 0.087	0 %	0 %
Zinc (mg/L-Zn)	0.097	0.092	0.092	0.5 %	0.5 %

Fuente: elaboración propia.

2.3.2. Eficacia del tratamiento a escala laboratorio

Para determinar la eficiencia del funcionamiento del reactor SBR, los resultados se analizaron en base al porcentaje de reducción de los parámetros estudiados. De acuerdo con la teoría consultada los valores aceptables para considerar un tratamiento efectivo se establecieron de la siguiente manera y se plasman en la tabla XX:

Tabla XX. Eficacia del tratamiento a escala laboratorio

Parámetro	%Eficacia aceptado	% Obtenido	Eficaz (Si/No)
DBO (mg/L)	Mayor a 30 %	71.13 %	Si
DQO (mg/L)	Mayor a 40 %	72 %	Si
Sólidos sedimentables (mg/L)	Mayor a 70 %	98 %	Si
Sólidos suspendidos (mg/L)	Mayor a 70 %	87 %	Si

Fuente: elaboración propia.

2.3.3. Consolidación de datos del análisis de agua residual

Al realizar la consolidación de los datos de agua residual se tomaron los datos de los análisis realizados, tomando en cuenta solo los parámetros pertinentes para el estudio. La información se consolidó de la siguiente manera:

Tabla XXI. **Parámetros de descarga de agua residual**

Parámetro	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro 3
DBO (mg/L)	97	39	28
DQO (mg/L)	273	70	77
Sólidos sedimentables (mg/L)	3.0	0.1	≤ 0.1
Sólidos suspendidos (mg/L)	80.00	18.50	10.40

Fuente: elaboración propia.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este trabajo de graduación se estableció como objetivo el diseño de un reactor biológico aerobio (SBR) piloto para tratamiento de agua residual, para encontrar un tratamiento idóneo para el efluente a tratar.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de este tratamiento a escala laboratorio.

3.1. Parámetros de descarga del agua sin tratamiento.

Para encontrar los parámetros de descarga del efluente fue necesario caracterizar el agua residual inicial y así conocer los parámetros de la descarga en cuestión. Los resultados del análisis de laboratorio para la muestra inicial se plasman en la tabla XXII.

Tabla XXII. **Concentraciones iniciales de la muestra**

Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
DBO (mg/L)	97	Cadmio (mg/L-CN)	≤0.010
DQO (mg/L)	273	Cianuro (mg/L-Cd)	≤0.008
Sólidos sedimentables (mg/L)	3.0	Cobre (mg/L-Cu)	0.131
Sólidos suspendidos (mg/L)	80.00	Cromo VI (mg/L-Cr)	≤0.01
Turbidez (NTU)	146	Mercurio (mg/L-Hg)	≤0.0006
Nitrógeno total (mg/L-N)	22.60	Níquel (mg/L-Ni)	≤0.154
Arsénico (mg/L-A)	≤0.0007	Plomo (mg/L-Pb)	≤0.087
Fósforo total (mg/L-P)	4.50	Zinc (mg/L-Zn)	≤0.097

Fuente: elaboración propia.

3.2. Operación del reactor

Para determinar la operación del reactor se realizaron 2 ciclos o pruebas y se procedió con la implementación de las fases del tratamiento del mismo, que se detallan a continuación:

- Fase de llenado: antes de verter el efluente en el reactor se realizó el filtrado de sólidos grueso y finos, posteriormente se procedió el llenado donde se añadió el efluente a tratar en el SBR, este proceso tuvo un tiempo aproximado de 5 minutos, se mantuvieron encendidos los agitadores para garantizar una correcta homogeneización de la mezcla.

Figura 9. **Salidas de agua residual doméstica de la colonia La Aurora II**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Colonia La Aurora II, 2022). Colección particular.
Guatemala.

Figura 10. Toma de muestra inicial del agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, para el reactor (SBR) piloto



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Colonia La Aurora II, 2022). Colección particular.
Guatemala.

Figura 11. Llenado de reactor biológico aerobio (SBR) piloto



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

- Fase de reacción o aireación: en esta fase se produce la degradación de la materia orgánica, se encendió los equipos de aireación para que los microorganismos existentes en el reactor dispongan del oxígeno necesario para que realicen el proceso, asimismo se mantuvo una agitación permanentemente a los sólidos suspendidos en el interior del reactor y este proceso llevó un tiempo de 24 y 48 horas, lo que permitió el consumo de sustrato en ambientes controlados.

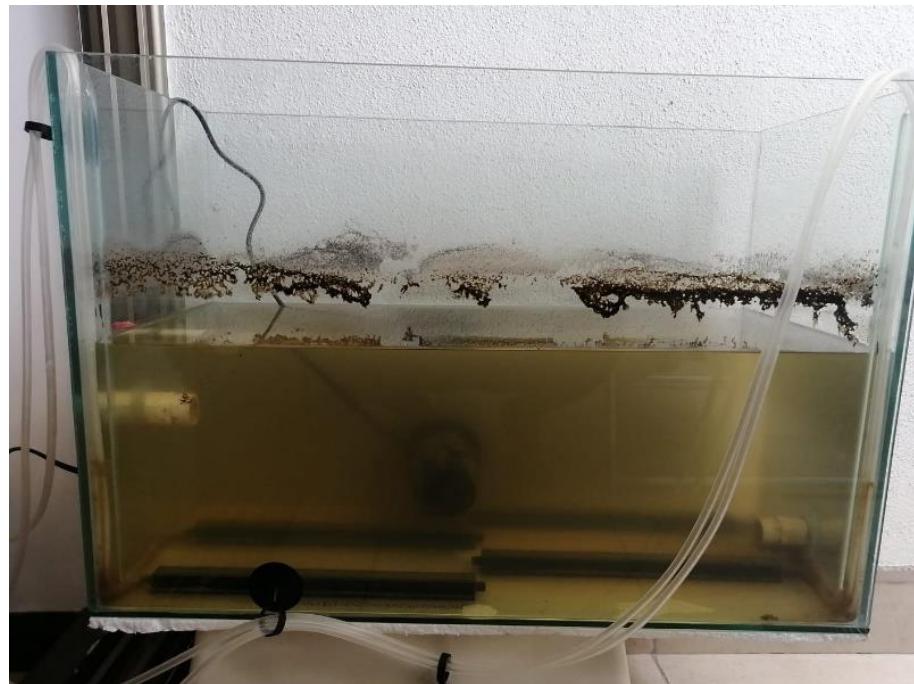
Figura 12. **Funcionamiento del reactor biológico aerobio (SBR) piloto**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

- Fase de sedimentación: una vez concluida la etapa de reacción o aireación se dejó reposar el agua residual aproximadamente 1 hora permitiendo la separación por capas del sedimento y el efluente ya tratado, como resultado se obtuvo un efluente más claro.

Figura 13. **Sedimentación del efluente tratado en el reactor biológico aerobio (SBR) piloto**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

- Fase de vaciado: en esta etapa se extrajo el efluente tratado del SBR, se tomó una muestra y se envió a laboratorio para un análisis fisicoquímico y se determinó el cumplimiento de los parámetros establecidos para realizar su posterior descarga, este procedimiento tomó de 10 a 20 minutos.

Figura 14. **Descarga del efluente tratado en el reactor biológico aerobio (SBR) piloto**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

- Fase de reposo: normalmente en esta etapa se establece entre el llenado y vaciado un lapso de tiempo de 24 horas y un reposo de 1 hora, para asegurar que ambas etapas no provoquen error en el siguiente ciclo de operación en el SBR.

Finalmente, después del proceso de tratamiento se procedió a realizar la toma de muestra, se ejecutó mediante dos muestras simples, la primera tomada a las 24 y la segunda a las 48 horas de la etapa de reacción o aireación, esto con el fin de completar el ciclo de tratamiento del efluente, con la finalidad de realizar

un juego de tiempo con respecto a las etapas antes mencionadas, para constatar el consumo de sustrato y desarrollo del reactor.

Figura 15. **Toma de muestras microbiana y fisicoquímica**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

Figura 16. **Toma de muestra de metales pesados y medición del pH**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

Figura 17. **Toma de muestra final del reactor para pruebas de laboratorio**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

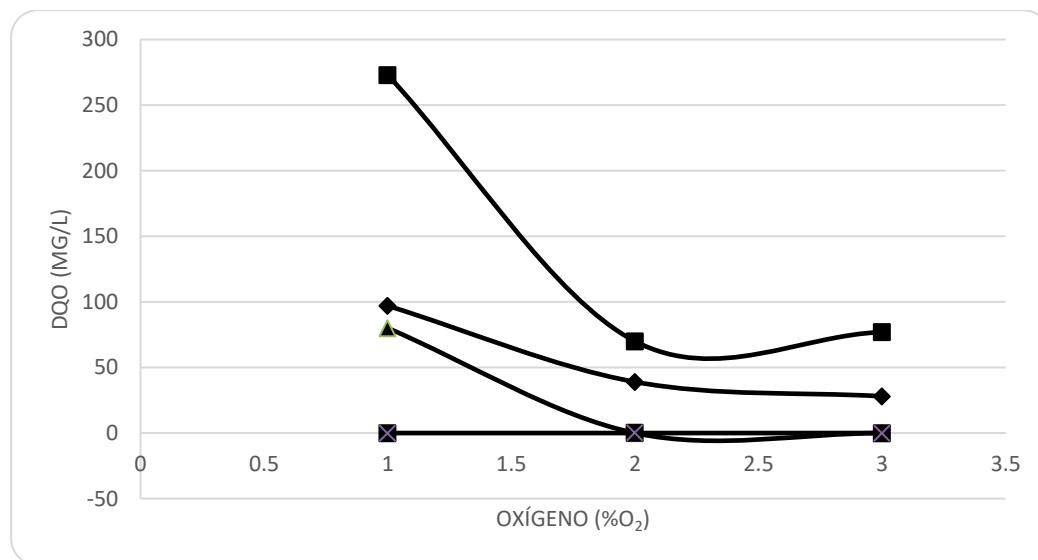
El tiempo de duración del ciclo de reacción y aireación del reactor se determinó mediante curvas de consumo, relacionando el parámetro el crecimiento de sólidos suspendidos versus la disminución de DQO con relación al tiempo transcurrido. Las curvas de consumo se presentan en las siguientes tablas y figuras:

Tabla XXIII. Datos para curvas de consumo

Fecha	Tiempo (días)	Oxígeno (%O ₂)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)	Sólidos sedimentables (mg/L)
14/09/2021	---	1	97	273	80	3.0
14/09/2021	48	1.5	39	70	18.50	0.1
19/09/2021	24	1.4	28	77	10.40	≤0.1

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Curvas de consumo en el reactor



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

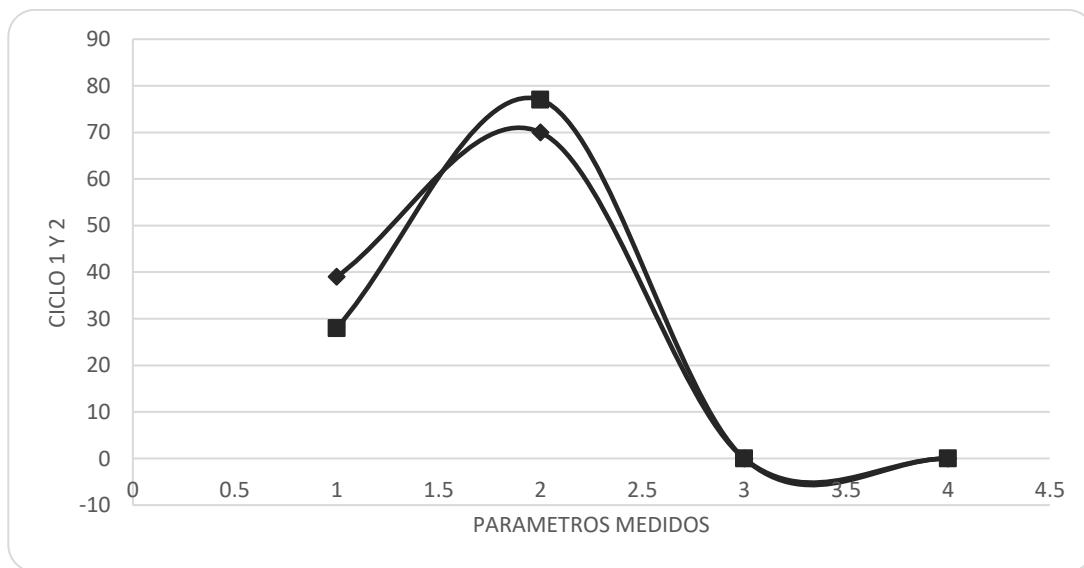
El tiempo óptimo para el ciclo de reacción y aeración en el reactor, se estableció con la máxima cantidad de remoción de sustrato en los 2 ciclos, este se puede verificar gráficamente en las figuras, donde se insertan los siguientes parámetros: DQO, DBO₅ sólidos sedimentables y sólidos suspendidos. Los datos que corresponden a este punto se detallan en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Datos para curva de consumo**

Parámetro	Resultados	
	Ciclo 1	Ciclo 2
DBO (mg/L)	39	28
DQO (mg/L)	70	77
Sólidos sedimentables (mg/L)	0.1	≤0.1
Sólidos suspendidos (mg/L)	18.50	10.40

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Funcionamiento del reactor**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

3.3. Parámetros del agua residual después del tratamiento

Al tener la confirmación del ciclo apto, fueron analizadas las muestras para establecer los parámetros después del ensayo a escala laboratorio. Los datos para la muestra de agua se detallan en la tabla XXV.

Tabla XXV. **Concentraciones finales de muestra**

Parámetro	Datos
DBO (mg/L)	28
DQO (mg/L)	77
Sólidos sedimentables (mg/L)	≤0.1
Sólidos suspendidos (mg/L)	10.40

Fuente: elaboración propia.

3.4. Eficiencia del tratamiento en el reactor

Para corroborar que el tratamiento en el reactor es viable se determinó el porcentaje de reducción de parámetros, con las condiciones iniciales y finales de muestra. Estos porcentajes se plasman en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Datos de reducción de concentraciones**

Parámetro	Inicio	Ciclo 1	Ciclo 2
DBO (mg/L)	97	39	28
DQO (mg/L)	273	70	77
Sólidos sedimentables (mg/L)	3.0	≤0.1	≤0.1
Sólidos suspendidos (mg/L)	80.00	18.50	10.40
Nitrógeno total (mg/L-N)	22.60	23.70	22.60
Arsénico (mg/L-A)	≤0.0007	0.0064	0.015
Fósforo total (mg/L-P)	4.50	4.20	4.50

Continuación de la tabla XXVI.

Cadmio (mg/L-CN)	≤0.010	≤0.010	0.014
Cianuro (mg/L-Cd)	≤0.008	≤0.008	≤0.008
Cobre (mg/L-Cu)	0.131	0.082	0.155
Cromo VI (mg/L-Cr)	≤0.01	≤0.01	≤0.01
Mercurio (mg/L-Hg)	≤0.0006	0.0014	≤0.0006
Níquel (mg/L-Ni)	≤0.154	≤0.154	≤0.154
Plomo (mg/L-Pb)	≤0.087	≤0.087	≤0.087
Zinc (mg/L-Zn)	0.097	0.092	0.092

Fuente: elaboración propia.

Con el porcentaje de reducción y basados en los criterios de referencias se determinó si el tratamiento es eficiente para cada parámetro de descarga. A continuación, en la tabla XXVII se visualizan estos datos.

Tabla XXVII. Eficacia del tratamiento a escala laboratorio de los parámetros más relevantes

Parámetro	% Eficacia aceptado	% Eficacia	Eficaz (Si/No)
DBO (mg/L)	Mayor a 30 %	71.13 %	Si
DQO (mg/L)	Mayor a 40 %	72 %	Si
Sólidos sedimentables (mg/L)	Mayor a 80 %	98 %	Si
Sólidos suspendidos (mg/L)	Mayor a 80 %	87 %	Si

Fuente: elaboración propia.

3.5. Muestra inicial y muestra final

De forma visual también se pueden comprobar los resultados al apreciar el cambio en el aspecto entre la muestra inicial y la muestra con el ciclo óptimo de reacción y aireación después del ensayo en el reactor. El comparativo entre las muestras se plasma en la figura 20.

Figura 20. **Resultado final del tratamiento del agua residual doméstica**



Fuente: [Fotografía de Ing. Ingrid Angulo]. (Laboratorio ECOQUIMSA, Mixco 2022). Colección particular. Guatemala.

Tabla XXVIII. **Resultados finales de laboratorio**

Parámetro	Iniciales	Ciclo 1	Ciclo 2	Parámetros de acuerdo a legislación 236/2006 Art. 21, 27 y 28
DBO (mg/L)	97	39	28	200
DQO (mg/L)	273	70	77	---
Sólidos sedimentables (mg/L)	3.0	0.1	≤0.1	---
Sólidos suspendidos (mg/L)	80.00	18.50	10.40	100
Nitrógeno total (mg/L-N)	22.60	23.70	10.40	20
Arsénico (mg/L-A)	≤0.001	0.006	0.015	0.1
Fósforo total (mg/L-P)	4.50	4.20	3.55	10
Cadmio (mg/L-CN)	≤0.010	≤0.010	0.014	0.1
Cianuro (mg/L-Cd)	≤0.008	≤0.008	≤0.008	1
Cobre (mg/L-Cu)	0.131	0.082	0.155	3
Cromo VI (mg/L-Cr)	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0.1
Mercurio (mg/L-Hg)	≤0.001	0.001	≤0.001	0.01
Níquel (mg/L-Ni)	≤0.154	≤0.154	≤0.154	2
Plomo (mg/L-Pb)	≤0.087	≤0.087	≤0.087	0.4
Zinc (mg/L-Zn)	≤0.097	≤0.092	≤0.092	10

Fuente: elaboración propia.

3.6. **Lodos activados**

Los lodos activados o fangos activados son los sólidos suspendidos en el reactor durante su funcionamiento, son los que ayudan a la biodegradación de la materia para un adecuado tratamiento de aguas residuales, para la remoción de materia contaminante, estos están compuestos por una masa orgánica aerobia, microrganismo como flagelos, amebas, ciliados nadadores libres, ciliados pedunculados entre otros.

Tabla XXIX. **Resultados % de lodos activados generados**

Parámetro	Iniciales	Ciclo 1	Ciclo 2	%Lodos activados	Volumen de lodos activados
Sólidos sedimentables (mg/L)	3.0	0.1	≤0.1	1 %	3 litro

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación se propuso el diseño de un reactor biológico aerobio (SBR) piloto para tratamiento de agua residual, utilizando aireación, con la finalidad de tratar el agua y así encontrar el ciclo óptimo de remoción de contaminante y sea viable para su implementación.

El diseño del reactor se realizó durante tres semanas, donde se utilizaron láminas de vidrio, mangueras, ventosas, silicón, difusores, un mezclador, dos compresores de aire y dos llaves de paso, una para salida del efluente tratado y la otra para purga de exceso de sedimentos.

Después de la construcción se puso a prueba el reactor aerobio durante un mes, se notó que su funcionamiento daba resultados favorables, debido a que cambiaba la coloración del agua residual a tratar.

El agua residual a tratar fue de origen doméstico-urbano, procedente de la colonia La Aurora II, de la planta de tratamiento piloto ERIS. Este efluente procede de la actividad humana y resultan por acciones domésticas, industriales, comerciales y agrícolas, así como también recoge aguas lluvias y por drenaje, por tal motivo, se identifica la necesidad de tener un tratamiento idóneo para su posterior descarga, la misma que, debe cumplir con las políticas ambientales internas y con los requisitos legales nacionales aplicadas.

Realizando una simple visualización del efluente, se evidencia que el agua tiene principalmente sólidos y materia orgánica en suspensión, por lo cual se realizó un pretratamiento, donde se retuvo todos los sólidos gruesos, para evitar

obstrucciones en el reactor, para así verificar si este es eficiente y viable para su implementación a escala real. La técnica de este reactor aerobio o proceso biológico es el de remover o eliminar la mayor cantidad de materia orgánica disuelta o coloidal en el agua residual, a través de este proceso se da la degradación bacteriana y decantación secundaria, dando como resultado la eliminación de patógenos y otros elementos contaminantes, una vez se obtenga el agua residual libre de sólidos suspendidos llamada también materia soluble, se procede a la degradación de la materia.

Para poder realizar el ensayo propuesto a escala laboratorio fue necesario realizar una toma de muestra inicial, esta se tomó de la salida del efluente hacia las lagunas de oxidación de la planta piloto ERIS. El agua residual proviene de la colonia La Aurora II, se dirigía hacia un tratamiento primario, luego hacia varios puntos para el ingreso a los diferentes tipos de tratamientos. Las condiciones para resguardo de las muestras incluían utilizar recipientes plásticos esterilizados y que no fueran translúcidos para evitar la alteración del parámetro turbidez, se cumplió con el tiempo de resguardo de las muestras, transcurriendo únicamente 30 minutos entre la toma de muestra y el tratamiento en el reactor biológico.

Se procedió con el llenado del reactor con 30 litros para el primer ciclo y 50 litros para el segundo ciclo, posteriormente se conectaron los compresores de aire y el mezclador para que se iniciara el tratamiento del efluente, durante el primer ciclo se inyectó el oxígeno durante 24 horas, y en el segundo 48 horas. Luego del tiempo transcurrido se procedió a tomar la muestra para análisis de laboratorio. Los parámetros considerados en el estudio fueron temperatura, color, pH, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno a veinte grados Celsius a los cinco días, nitrógeno total, arsénico, fósforo total, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc, coliformes fecales.

Durante el tiempo transcurrido en cada ciclo, se visualizó los cambios que daba la coloración del agua residual, era notorio que a medida que pasaba el tiempo se iba degradando la materia e iba cambiando su coloración. La temperatura del agua residual en el reactor en °C, se estimó con objeto de conocer las condiciones reales de operación (temperatura mínima y máxima). El parámetro se midió al interior del reactor durante los días de pruebas y puesta en marcha. La temperatura de operación del reactor se mantuvo entre los 21 y los 26 °C, sin variaciones significativas lo que es clave en el metabolismo de la población microbiana (Metcal, 1994).

Durante el ciclo en el reactor se conservó un pH entre 6.7 y 8.5, lo que quiere decir que estuvo colindante a la neutralidad, lo que provocó un buen desarrollo de la población microbiana. El oxígeno disuelto se midió a través de un oxigenómetro HACH al interior del reactor bajo condiciones aerobias, esto se analizó en el laboratorio contratado, dando como resultado un mínimo de 1.4 mg/L y un máximo de 2.0 mg/L.

Con relación a sólidos suspendidos totales se midieron en la muestra inicial con un resultado de 80.00 mg/L, muestra del reactor ciclo 1 con un resultado de 18.50 mg/L y muestra del reactor ciclo 2 con un resultado de 10.40 mg/L, para la observación del incremento o disminución de la biomasa mediante los días de pruebas, donde se notó una disminución de los mismos durante la puesta en marcha del equipo, dando como resultado un efluente clarificado.

Al respecto del DQO, este análisis se realizó utilizando dosis exactas, donde se utiliza equipos de gran precisión para su respectiva medición, al verificar el resultado es notable la disminución al pasar de los días dando como efecto un rendimiento eficiente para nuestro tratamiento, en la muestra inicial con un

resultado de 273 mg/L, muestra del reactor ciclo 1 con un resultado de 70 mg/L y muestra del reactor ciclo 2 con un resultado de 77 mg/L.

En los datos evidenciados del DBO_5 , se tuvo como resultado una disminución de los mismo en la muestra inicial con un resultado de 97 mg/L, muestra del reactor ciclo 1 con un resultado de 39 mg/L y muestra del reactor ciclo 2 con un resultado de 28 mg/L, lo que significa que el reactor obtuvo un alto rendimiento al realizar los ciclos de tratamiento.

Realizada la discusión de los resultados, se visualizó que la eficiencia del reactor da resultados satisfactorios, lo que da como conclusión que este tipo de reactores son los más convenientes para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.

CONCLUSIONES

1. El reactor biológico aerobio (SBR) piloto diseñado para tratamiento de agua residual, se puso en marcha durante 2 semanas, para luego proceder a la implementación de los ciclos. Durante su funcionamiento se obtuvieron resultados significativos, lo que conlleva a que el diseño fue un éxito.
2. Entre los diferentes tipos de reactor SBR para tratamiento de agua residual, encontramos los reactores tipo Bach, los cuales hacen referencia a un ciclo completo en el mismo reactor.
3. La construcción de un reactor apropiado para Guatemala, sería el de tipo Bach, ya que las fases se dan en el mismo reactor, lo que conlleva a una inversión menos significativa y a la obtención de buenos resultados. En virtud de ello, se realizó el experimento a escala laboratorio en las instalaciones de la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -USAC- colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala, para medir la eficiencia que tienen los sistemas de tratamiento aerobios para los efluentes.
4. Los parámetros del agua residual después del tratamiento a escala laboratorio, presentaron un alto porcentaje de remoción, siendo estos 71.13 % para DBO, 72 % para DQO, 98 % para sólidos sedimentables y el 87 % para sólidos suspendidos. El procedimiento propuesto a escala laboratorio, con las condiciones de operación dadas, es eficiente para tratar el agua residual doméstica de la colonia La Aurora II, ya que la

eficiencia del reactor biológico obtuvo un buen porcentaje de remoción del DQO de más del 70 %, con este resultado damos por concluido la investigación y diseño del sistema de tratamiento de la planta de aguas residuales quedando satisfechos con el trabajo realizado.

5. Despues de la construcción, puesta en marcha y resultados de laboratorio, se concluyó que el diseño del reactor y su funcionamiento son factibles y adecuados para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. El reactor SBR cuenta con una eficiencia promedia de 85 %, la que da a entender que el sistema es apto para el tratamiento del efluente analizado.

RECOMENDACIONES

1. Supervisar el funcionamiento del reactor, específicamente en las variables como la temperatura y pH, para evitar la disminución de la carga microbiana y obtener una buena sedimentación.
2. Tomar una muestra a la salida de la trampa de sólidos, de la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria -USAC- colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala, con la finalidad de tener un análisis más preciso del agua residual.
3. Revisar y optimizar el flujo de aire que entra en el sistema, para que este no afecte la eficiencia en el proceso, debido a la alta concentración de oxígeno.
4. Es necesario y conveniente usar este tipo de reactores aeróbicos en la industria, ya que el proceso cuenta con una eficiencia de más del 80 %, con excelentes resultados de remoción de carga orgánica contaminante.
5. Se recomienda la implementación de este tipo de sistemas, debido a su bajo costo al ser ejecutado y su funcionamiento lo hace rentable para la industria agropecuaria, agroindustrial entre otras.

REFERENCIAS

1. Aliendre, F. (2011). *Programa Materia Administración de Operaciones*. Bolivia: Editorial de la Universidad Mayor de San Andrés.
2. Álvarez, M. (10 de octubre, 2006). Etapas de un ciclo de operación de un SBR. [Mensaje en un blog]. Recuperado de https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/41/41313/aplicacionesbraguas_domesticas.pdf.
3. Ambiental Blog. (7 de diciembre, 2010). Los rellenos sanitarios. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ambientalblog2010.wordpress.com/2010/12/07/los-rellenos-sanitarios/>.
4. Besnier, F. (1970). *Acumulación de pesticidas en el suelo*. Madrid, España: Gráficas Aragón. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1970_02.pdf.
5. Caravantes, G. (28 de agosto, 2017). Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional de la Presidencia de la República. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://www.sesan.gob.gt/wordpress/2017/08/28/agua-potable-y-saneamiento-para-prevenir-la-desnutricion-cronica/>.

6. Diaz, A., Veliz, E. y Bataller, M. (Abril de 2015). Tratamientos de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 46: 1-10. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>.
7. Ecoinventos. (30 de enero, 2019). Suecia recicla un asombroso 99% de basura. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://ecoinventos.com/suecia-recicla-un-asombroso-99-de-su-basura/>.
8. El Ágora Diario del Agua. (31 de marzo, 2020). ¿Sabes cómo reciclar correctamente el plástico? Recuperado de <https://www.elagora-diario.com/agora-forum/a-style/reciclar-correctamente-plastico/>.
9. Farrás, Q. (2017). *Diseño de un Reactor Biológico Secuenciado (q a.r= 9000m3/d) para reducir la producción de fangos mediante la aplicación de un desacoplador metabólico*. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/77405/151216_TFM_FARRAS%20GENTO%20QUERALT_1481795528107417457534161014436.pdf?sequence=3.
10. Galán, E. y Romero, A. (Noviembre de 2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 10(8), 48-60. Recuperado de http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf.

11. García, O. y Gamarro, U. (2021). Giammattei anuncia estado de *Calamidad con restricciones de horario de 22 a 4 horas, reuniones y otras medidas*. Guatemala: Prensa Libre. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/giammattei-anuncia-estado-de-calamidad-con-restricciones-de-horario-de-22-a-4-horas-reuniones-y-otras-medidas-breaking/>.
12. Gobierno de Guatemala. (22 de agosto, 2020). Tablero de Alertas Sanitarias COVID-19. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://covid19.gob.gt/tablero.html>.
13. Gobierno de Guatemala. (22 de agosto, 2021). Variante DELTA de SARS CoV-2 detectada en Guatemala. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://prensa.gob.gt/comunicado/variante-delta-de-sars-cov-2-detectada-en-guatemala>.
14. Google earth. (17 de marzo, 2021). Isla de Flores Petén. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://earth.google.com/web/search/isla+de+flores+peten/@16.92887268,-89.89854007,115.75069492a,7598.79708807d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCcd7loLpAzFAEdc1zoMq8jBAGaevLJ1ralbAlfgCRcShb1bA>.
15. Instituto de Toxicología de la Defensa. (10 de junio, 2016). pH en aguas de consumo, continentales y residuales. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://www.defensa.gob.es/itoxdef/>.
16. Instituto Nacional de Estadística Guatemala. (2018). Mapas temáticos. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.censopoblacion.gt/calor>.

17. La Organización Panamericana de la Salud, OPS/OMS. (19 de agosto, 2015). Agua y saneamiento. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.paho.org/es/noticias/19-8-2015-agua-saneamiento>.
18. Lozano, W. (2012). *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: CENTA.
19. Manzanares, F. y Ricaldi, A. (2017). *Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético recicitable a escala piloto*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del centro del Perú, Perú. Recuperado de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3778/Manzanares%20Palacios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
20. Mendoza, D. (2008). *Diagnóstico y pronóstico socioeconómico*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0662_v16.pdf.
21. Metcal, E. (1994). *Ingeniería sanitaria, tratamiento, evacuación y reutilización*. Bogotá, Colombia: Grupo Editor quinto Centenario.
22. Mijaylova, P. y Soriano, E. (3 de enero, 2009). Uso de un producto biotecnológico en el tratamiento aerobio de aguas residuales. [Mensaje de un blog]. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Efecto-de-la-dosis-del-producto-Ecoterra-WA-sobre-la-remocion-y-la_fig1_228598766.

23. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos*. Guatemala: Autor.
24. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (22 de agosto, 2021). Situación de Covid-19 en Guatemala. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://tablerocovid.mspas.gob.gt/>.
25. Morán, D. (2014). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz. (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/14/Moran-Diego.pdf>.
26. Muñoz, J. y Ramos, M. (Mayo de 2014). Experiencias en el tratamiento de AR con SBR. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 24(1), 49-66. Recuperado de <https://revistas.unimilitar.edu.co/plugins/generic/pdfJsViewer/pdf.js/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Frevistas.unimilitar.edu.co%2Findex.php%2Frcin%2Farticle%2Fdownload%2F7%2F5%2F>.
27. Muñoz, M., Reina, J. y Aldás, M. (Octubre de 2016). Evaluación de un reactor aerobio piloto con medio de soporte de polietilentereftalato (PET) para tratamiento de efluente lechero. *Revista Enfoque UTE*, 7(4), 112. Recuperado de http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v7n4/art003.html.

28. Noticias Otamendi. (27 de febrero, 2020). La importancia del saneamiento ambiental en nuestra comunidad. [Mensaje de un blog]. Recuperado de <http://www.noticiasdeotamendi.com.ar/2020/02/27/la-importancia-del-saneamiento-ambiental-en-nuestra-comunidad/>.
29. Noyola, A., Morgan, J. y Guereca, L. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México: Instituto de ingeniería, UNAM.
30. Oropeza, N. (12 de junio, 2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos conciencia*, 1: 51-58. Recuperado de http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf.
31. Panamerican Silver Guatemala. (2011). *Estudio de Impacto Ambiental Proyecto EL Escobal*. Guatemala: Autor.
32. Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento. (2017). Salud ambiental, regulaciones vigentes. Guatemala: MSPAS. Recuperado de https://www.mspas.gob.gt/images/files/salud_abmiente/regulacionesvigentes/PolíticaNacionalAPS/PolíticaNacionalSectorAguaPotableSaneamiento.pdf.
33. Posada, R. (2007). *Bioaccesibilidad en suelos de hidrocarburos aromáticos policíclicos depositados desde la atmósfera*. (Tesis de doctorado). Universidad de Sevilla, España. https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/23959/I_T-1344.pdf?sequence=1.

34. Tuset, J. (2019). *La venus del espejo*. España: Arteaeaterna.
35. Ullca, J. (Diciembre de 2005). Los Rellenos Sanitarios. *La Granja, Revista de Ciencias de la Vida*, 4(1), 2-17. Recuperado de file:///C:/Users/casa.DESKTOP-MVGP93O.000/Downloads/1130-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2891-1-10-20160401.pdf.

APÉNDICES

Apéndice1. **Punto de monitoreo. Planta de tratamiento Eris**



9^a Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
Email: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE MONITOREO DE AGUA RESIDUAL

**ING. INGRID ANGULO
COLONIA LA AURORA II**

COLONIA LA AURORA II, ZONA 13

PREPARADO POR:
LABORATORIO ECOQUIMSA

9a. avenida 3-08 colonia Alvarado zona 2 de Mixco, Guatemala, Centroamérica
PBX: 2322-3600
ecoquimsa.com

Septiembre 2021

Continuación del apéndice 1.



9^a Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

Punto de Monitoreo
Planta de tratamiento ERIS



Continuación del apéndice 1.



9^a. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PEX: (502) 2329 3800

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Ing. Ingrid Angulo
 Dirección: 4a. avenida 12-60, zona 14

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Colonia La Aurora II	Muestra simple o compuesta: Simple
Referencia cliente:	Planta de tratamiento ERES	Responsable del muestreo: DAVID GONZALEZ
Fecha de muestreo:	14 de septiembre de 2021	Temperatura de almacenaje: 5 °C
Hora de muestreo:	18:13	Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y botella estéril
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Método de muestreo: PRO19-MUE
Código de muestra:	21-4025-1	Método de preservación: ISO94-MUE
Lote:	21-4025	Ubicación: N 14°34'42.58" O 90°32'11.27"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 14 de septiembre de 2021
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 18:35
 Fecha de informe: 24 de septiembre de 2021

Ánáisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Cloruro ⁽⁴⁾	mg/L - Cl	0.008	< 0.008	—	Spectrofotómetro (ISO 16011)
Color ⁽⁵⁾	u PHCo	3	146	580	STM 2120-C
Dureza Bioquímica de Calcio ⁽⁶⁾	mg/L - Ca	4	87	260	ECOQUIMSA ATC 2001-MU
Dureza Química de Calcio ⁽⁶⁾	mg/L - Ca	4	213	—	ECOQUIMSA ATC 2001-MU
Fusión EQUOTEC	—	—	2.6	—	—
Fósforo Total ⁽⁷⁾	mg/L - P	0.02	4.88	10	Spectrofotómetro (ISO 14540)
Grados y Acidez	mg/L	0.04	12	10	ECOQUIMSA ATC 0103201
Materia Física	—	Presente/ausente	Ausente	Ausente	Observación
Nitrogeno Total ⁽⁸⁾	mg/L - N	0.20	22.63	20	Spectrofotómetro (ISO 14112)
pH (0-14)	—	0.01	7.77	6 a 9	STM 4630-H-9
Sólidos Sedimentantes	mg/L	0.1	3.0	—	STM 2540-F
Sólidos Suspensos ⁽⁹⁾	mg/L	2.20	80.00	100	STM 2540-D
Temperatura (m-sil)	°C	0.1	23.2	TDR 4-7	STM 2000-B
Conductividad	μS/100 mL	1.8	1,700,000	< 10,000	STM 1601-C y F

(1) mg/L = miligramos por litro o PHCo = Unidades Platino-Cromo, AMPPV03-01 = concentración presente por 100 mililitros

(2) LMP = Límite Mínimo Permitido según Acuerdo Subsecretaría No. 236-2006, Artículo No. 21

(3) KRM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017

(4) Análisis acuático ECOQUIMSA ATC 2001-MU según ISO 16011-13

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.


 Laboratorio ECOQUIMSA
 Calle 4-08, Col. Alvarado
 Mixco, Guatemala
 Teléfono 2329-3800

Continuación del apéndice 1.



9^{ta} Avenida 3-68 zona 2 Colonia Atenas, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Ing. Ingrid Angulo
Dirección: 4a. avenida 12-60, zona 14

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Colonia La Aurora II	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Planta de tratamiento ERS	Responsable del muestreo:	DAVID GONZALEZ
Fecha de muestreo:	14 de septiembre de 2021	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de muestreo:	16:13	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Método de muestreo:	PRD19-MUE
Código de muestra:	21-4025-t	Método de preservación:	INS04-MUE
Lote:	21-4025	Ubicación:	N 14°34'42.58" O 90°32'11.22"

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 14 de septiembre de 2021
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 16:35
Fecha de informe: 24 de septiembre de 2021

Ánáisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Árbolito	mg/L - As	0.0007	< 0.0007	0.1	STM 2914 C
Cadmio	mg/L - Cd	0.000	< 0.010	0.1	STM 2911 B
Cobre	mg/L - Cu	0.003	0.131	3	STM 2911 B
Críromo (VI)	mg/L - Cr	0.01	< 0.01	0.1	Specrofotómetro 1075B
Mercurio	mg/L - Hg	0.0006	< 0.0006	0.01	STM 2912 B
Níquel	mg/L - Ni	0.154	< 0.154	2	STM 2911 B
Plomo	mg/L - Pb	0.087	< 0.087	0.4	STM 2911 B
Zinc	mg/L - Zn	0.092	0.097	10	STM 2911 B

(1) mg/L ± 10%.

(2) LMP: Límite Mínimo Permitido según Acuerdo Gubernativo No. 238-2006, Anexo No. 21.

(3) STM: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition 2017.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-001-13.
Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.


Laboratorio ECOQUIMSA
Centro de Desarrollo Sustentable
Calle 14-100, Col. Atenas
Código Postal 14100

Continuación del apéndice 1.



9P. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
Pbox: (502) 2322 3600

Guatemala, 01 de octubre de 2021

Ingeniero
Ingrid Angulo
Presente

Estimada Ing. Angulo:

Se muestra a continuación los resultados de análisis de su muestra tomada en Edificio Bonavita, en la Salida de reactor piloto aerobio, consignados en el informe con número de lote 21-4111. Estos resultados se comparan con los límites máximos permisibles para un ente generador nuevo que descarga a cuerpo receptor, artículo 21 del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Analisis	Dimensional	Resultados	LMP
Color	u Pt/Co	57	500
Demandado Biológico de Oxígeno	mg/L - O ₂	28	200
Demandado Químico de Oxígeno	mg/L - O ₂	77	—
Relación DO/DOB	—	2.8	—
Fósforo Total	mg/L - P	3.55	10
Grasas y Aceites	mg/L	<6.94	10
Materia Flotante	—	Ausente	Ausente
Nitrogeno Total	mg/L - N	10.40	20
pH (in-situ)	—	8.53	6 a 9
Sólidos Sedimentables	ml/L	<0.1	—
Sólidos Suspensos	mg/L	10.40	100
Temperatura (in-situ)	°C	21.3	TCR +/- 7
Coliformes fecales	NMP/100ml	92,000,000	<10,000

Continuación del apéndice 1.



9° Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

Amónico	mg/L - As	0.015	0.1
Cadmio	mg/L - Cd	0.014	0.1
Cianuro	mg/L - CN	< 0.008	1
Cobre	mg/L - Cu	0.155	3
Cromo (VI)	mg/L - Cr	< 0.01	0.1
Mercurio	mg/L - Hg	< 0.0006	0.01
Níquel	mg/L - Ni	< 0.154	2
Pbomo	mg/L - Pb	< 0.087	0.4
Zinc	mg/L - Zn	< 0.092	10

Le manifestamos que, al comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 – Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, el parámetro: Coliformes fecales no cumple con la normativa nacional vigente.

Sin otro particular, le referimos que para ECOQUIMSA es un gusto atenderles.

Agradecimiento,



Laboratorio ECOQUIMSA

Continuación del apéndice 1.



9^o Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
Email: informes@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
FAX: (502) 2322 3800

Guatemala, 24 de septiembre de 2021

Ingresa
Ingrid Argueta
Presente

Estimada Ing. Argueta:

Se muestra a continuación los resultados de análisis de su muestra tomada en Colonia La Aurora II, en la planta de tratamiento ERIS, consignados en el informe con número de lote 21-4025. Estos resultados se comparan con los límites máximos permisibles para un este generador nuevo que descarga a cuerpo receptor, artículo 21 del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2008 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Ánálisis	Dimensional	Resultados	LMP
Cobre	μg/L-Cu	146	500
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L - O ₂	97	200
Fósforo Total	mg/L - P	4.60	10
Grasas y Aceites	mg/L	12	10
Materia Fólica	—	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L - N	22.60	20
pH (in-situ)	—	7.77	6 a 9
Sólidos Suspensos	mg/L	86.00	100
Temperatura (in-situ)	°C	23.3	TCR +/- 7
Coliformes totales	MPN/100mL	1,700,000	< 10,000
Arsénico	μg/L - As	< 0.0007	0.1
Cadmio	μg/L - Cd	< 0.010	0.1
Cianuro	μg/L - CN	< 0.008	1

Continuación del apéndice 1.



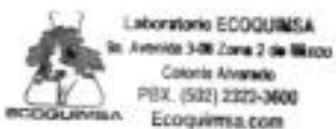
9^a Avenida 3-08 zona 2 Colonia Avenida, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3800

Cobre	mg/L - Cu	0.131	3
Cromo (VI)	mg/L - Cr	< 0.01	0.1
Mercurio	mg/L - Hg	< 0.0006	0.01
Níquel	mg/L - Ni	< 0.154	2
Pbiente	mg/L - Pb	< 0.007	0.4
Zinc	mg/L - Zn	0.097	10

Le manifestamos que, al comparar los resultados de los parámetros fisiquímicos y microbiológicos analizados, con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 - Reglamento de las descargas y reiso de aguas residuales y de la disposición de todos, los parámetros: Grasas y Aceites, Nitrógeno Total, y Coliformes fecales, no cumplen con la normativa nacional vigente.

Si en otro particular, le referimos que para ECOQUIMSA es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA

Fuente: elaboración propia, realizado en Laboratorio ECOQUIMSA.

Apéndice 2. **Ánalisis del ciclo 1 del agua residual doméstica de la
colonia La Aurora II tratada en el reactor**



9a. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

**INFORME DE MONITOREO DE
AGUA RESIDUAL**

**ING. INGRID ANGULO
EDIFICIO BONAVITA**

**14 AVENIDA 03-71, EDIFICIO BONAVITA
ZONA 15**

PREPARADO POR:

LABORATORIO ECOQUIMSA

9a. avenida 3-08 colonia Alvarado zona 2 de Mixco, Guatemala, Centroamérica
PBX: 2322-3600
ecoquimsa.com

Septiembre 2021

Continuación del apéndice 2.



9^a Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mazatenango, Guatemala
E-mail: informacion@ecouimsa.com.gt
Página Web: ecouimsa.com
PBX [502] 2322 3600

Análisis del ciclo 1 del agua residual doméstica de la Colonia La Aurora II, tratada en el reactor.

Punto de Monitoreo
Salida de reactor piloto aerobio



Continuación del apéndice 2.



B°. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Ing. Ingrid Argueta
 Dirección: 4a. Avenida 12-60, zona 14

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Edificio Bonavita	Muestra simple o compuesta: Simple
Referencia cliente:	Salida de reactor piloto aéreo	Responsable del muestreo: YOBANI DOMINGUEZ
Fecha de muestreo:	16 de septiembre de 2021	Temperatura de almacenaje: 5 °C
Hora de muestreo:	17:38	Recipiente utilizado: Plástico, vidrio y bolsa estéril
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Método de muestreo: PRO19-MUE
Código de muestra:	21-4060-1	Método de preservación: INSD4-MUE
Lote:	21-4060	

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 16 de septiembre de 2021
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:07
 Fecha de informe: 27 de septiembre de 2021

Ánáisis	Dimensiones ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Cobre ⁽⁴⁾	mg/L - CV	0.008	< 0.008	1	Spectrofotometría 652nm
Color ⁽⁵⁾	u Pt-Co	2	65	500	STM 2180C
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L - O ₂	4	39	250	DOQUIMEX 2004M
Demanda Química de Oxígeno ⁽⁶⁾	mg/L - O ₂	4	70	—	DOQUIMEX 2014B
Relación DOQ/DBO	—	—	1.8	—	—
Fósforo Total ⁽⁷⁾	mg/L - P	0.02	40.20	10	Spectrofotometría 1680nm
Grasas y Aceites	mg/L	0.04	< 0.04	10	DOQUIMEX 2700B
Materia Fecal	—	Presente-Ausente	Ausente	Ausente	250 presenciales
Nitrógeno Total ⁽⁸⁾	mg/L - N	0.10	21.26	20	Spectrofotometría 1477nm
pH (in-situ)	—	0.01	8.59	5 a 9	STM 4000 C y D
Rotolos Sedimentantes	mg/L	0.1	0.1	—	STM 2140C
Volúmen Suspensión ⁽⁹⁾	mg/L	2.20	18.50	100	STM 2180C
Tensión superficial (in-situ)	mN	0.1	21.7	TDR 447	STM 2180C
Conformes fecales	AMP/100 ml.	1.8	3,560,000	< 10,000	STM 8201 C y E

(1) Lg = Largo por ancho, mg/L = miligramos por litro mg/L, u Pt-Co = Unidad de Pt-Co = Unidad de Colorimetría, mg/L = miligramos por litro mg/L.

(2) LMP = Límite Mínimo de la Técnica de Análisis el cual es el 10% de la Técnica de Análisis.

(3) Método Permisible según Norma General No. 236-2006, Artículo No. 21.

(4) Análisis conforme DOQUIMEX 2004M según OIGA/LE/081-10

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.

Cecilia de Leon Arevalo
 Ing. en Química
 Colegio No. 2827

Continuación del apéndice 2.



9^a Avenida 3-408 zona 2 Quetzaltenango, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 9800

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Ing. Ingrid Argueta
Dirección: 4a. Avenida 12-60, zona 14

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Edificio Bonavita	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Bolsa de mector plástico servido	Responsable del muestreo:	YOBANI DOMINGUEZ
Fecha de muestreo:	16 de septiembre de 2021	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de muestreo:	17:38	Receptáculo utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Método de muestreo:	PRO19-MUE
Código de muestra:	21-4060-1	Método de preservación:	INS04-MUE
Lote:	21-4060		

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 16 de septiembre de 2021
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:07
Fecha de informe: 27 de septiembre de 2021

Analisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	L.M.P ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Aserrín	mg/L - As	0.0007	0.0044	0.1	STM 3114C
Cadmio	mg/L - Cd	0.010	< 0.010	0.1	STM 3111B
Cobre	mg/L - Cu	0.038	0.062	3	STM 3111B
Chromo (VI)	mg/L - Cr	0.01	< 0.01	0.1	Spectrofotómetro 5475B
Mercario	mg/L - Hg	0.0006	0.0014	0.01	STM 3111B
Níquel	mg/L - Ni	0.154	< 0.154	1	STM 3111B
Pbino	mg/L - Pb	0.067	< 0.067	0.4	STM 3111B
Zinc	mg/L - Zn	0.092	< 0.092	10	STM 3111B

(1) mg/L - ppm

(2) L.M.P: Límite Mínimo Permitido según Norma Calorífica No. 206-2006, Artículo No. 21.

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR INTG/ISO/EC 17025:2017 según QGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.


Laboratorio ECOQUIMSA
Carta de Autorización
Ingeniería Química
Lote número: 206-0507

30

Fuente: elaboración propia, realizado en Laboratorio ECOQUIMSA.

Apéndice 3. **Salida de reactor piloto aerobio**



B°. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE MONITOREO DE AGUA RESIDUAL

**ING. INGRID ANGULO
EDIFICIO BONAVITA**

**14 AVENIDA 03-71, EDIFICIO BONAVITA
ZONA 15**

PREPARADO POR:

LABORATORIO ECOQUIMSA

9a. avenida 3-08 colonia Alvarado zona 2 de Mixco, Guatemala, Centroamérica
PBX: 2322-3600
ecoquimsa.com

Septiembre 2021

Continuación del apéndice 3.



8° Avenida 3-00 zona 2 Colonia Avarado, Mixco, Guatemala
Email: informacion@ecouimsa.com.gt
Página Web: ecouimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

Punto de Monitoreo
Salida de reactor piloto aerobia



Continuación del apéndice 3.



9^a Avenida 3-00 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 E-mail: informacion@ecouimsa.com.gt
 Página Web: ecouimsa.com
 PBX: (502) 23422 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Ing. Ingrid Arquiza
 Dirección: Av. Avenida 12-60, zona 14

Datos de la muestra

Lugar de muestra:	Edificio Bonanza	Muestra simple o compuesta: Simple	
Referencia cliente:	Salida de reactor piloto secundario	Responsable del muestra:	ECOQUIMSA
Fecha de muestreo:	20 de septiembre de 2021	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de muestreo:	15:30	Recipiente utilizado:	Plástico, vidrio y bolsa estéril
Tipo de muestra:	Agua residual especial	Método de muestra:	PRO19-MUE
Código de muestra:	21-4111-1	Método de preservación:	ING14-MUE
Lot:	21-4111		

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 20 de septiembre de 2021
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 20:00
 Fecha de informe: 01 de octubre de 2021

Analisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LIM ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Cromo ⁽⁴⁾	mg/L - CN	0.008	< 0.008	1	Espectrofluorímetro 101317
Cromo ⁽⁵⁾	uM/Cu	2	57	300	STM 2120 G
Densidad (Densidad de Oxigeno)	Ing/L - O ₂	4	28	300	ECOQUIMSA R110-0001407
Densidad Química de Oxigeno ⁽⁶⁾	Ing/L - O ₂	4	27	—	ECOQUIMSA R110-0001408
Fluorina (F2O4) (6)	—	—	2.8	—	—
Fósforo Total ⁽⁷⁾	mg/L - P	0.00	3.65	10	Spectrofluorímetro 14466
Grasas y Aceites	mg/L	6.94	< 6.94	10	ECOQUIMSA R110-1703211
Indice Flotante	—	Presente/Auditor	Auditor	Auditor	Observación
Nitrógeno Total ⁽⁸⁾	mg/L - N	0.20	13.49	30	Spectrofluorímetro 14471
pH (in situ)	—	0.01	8.83	8 a 9	STM 400047-B
Colores Sedimentantes	mg/L	0.1	< 0.1	—	STM 240-0
Sólidos Suspensos ⁽⁹⁾	mg/L	2.25	10.40	100	STM 240-0
Temperatura (in situ)	°C	0.1	21.3	10.0	STM 250-0
Calorímetros Acuáticos	ATM/TDS-HL	1.0	92,000,000	> 10,000	STM 821-2 a 0

(1) Ing/L = ppm, uM/Cu = micromol/litro, MM/TDS-HL = micromol/litro por 100 mililitros.

(2) LIM: Límite Mínimo Presumido según Acuerdo Oficializado No. 238-2006, Artículo No. 21.

(3) STM: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition 2017

(4) Análisis acuático ECOQUIMSA-01000001; resultado según ISO 17025-12.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.


 Laboratorio ECOQUIMSA
 Calle 9-100, Col. Alvarado
 Mixco, Guatemala
 Tel. (502) 23422 3600

Continuación del apéndice 3.



9º. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
Email: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Ing. Ingrid Angulo
Dirección: 4a. Avenida 12-60, zona 14

Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Edificio Bonavita Muestra simple o compuesta: Simple
Referencia cliente: Salida de reactor piloto aerobio Responsable del muestreo: ERICKDON XUTUC
Fecha de muestreo: 20 de septiembre de 2021 Temperatura de almacenaje: 5 °C
Hora de muestreo: 15:30 Recipiente utilizado: Plástico
Tipo de muestra: Agua residual especial Método de muestreo: PRO1B-MUE
Código de muestra: 21-4111-1 Método de preservación: INS04-MUE
Lote: 21-4111

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 20 de septiembre de 2021
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 20:00
Fecha de informe: 01 de octubre de 2021

Ánáisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	LMP ⁽²⁾	Método de análisis ⁽³⁾
Arsénico	mg/L - As	0.0007	0.015	E,1	STM 3114 C
Cadmio	mg/L - Cd	0.010	0.014	E,1	STM 3111 B
Cobre	mg/L - Cu	0.033	0.155	3	STM 3111 B
Chromo (VI)	mg/L - Cr	0.01	< 0.01	E,1	Spectrofotómetro Novas 1671B
Mercúrio	mg/L - Hg	0.0006	< 0.0006	0.01	STM 3112 B
Níquel	mg/L - Ni	0.154	> 0.154	2	STM 3111 B
Fósforo	mg/L - P	0.007	> 0.007	0.4	STM 3111 B
Zinc	mg/L - Zn	0.002	> 0.002	10	STM 3111 B

(1) mg/L = ppm.

(2) LMP: Límite Mínimo Permitido según Acuerdo Gubernativo No. 236-2008, Anexo No. 21.

(3) STM: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 2010 Edición 2017.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.
Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.


Laboratorio ECOQUIMSA
Calle 12-60, zona 14
Guatemala
Telf: (502) 2322 3600

Continuación del apéndice 3.



9^a Avenida 3-00 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX: (502) 2322 3600

Guatemala, 27 de septiembre de 2021

Ingeniera:
Ingrid Angulo
Presente

Estimada Ing. Angulo:

Se muestra a continuación los resultados de análisis de su muestra tomada en Edificio Bonavita, en la Salida de reactor piloto aerobio, consignados en el informe con número de lote 21-4060. Estos resultados se comparan con los límites máximos permisibles para un ente generador nuevo que descarga a cuerpo receptor, artículo 21 del Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 238-2006 del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Ánáisis	Dimensional	Resultados	LMP
Color	u Pt/Co	66	500
Demandia Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	39	200
Fosforo Total	mg/L - P	4.20	10
Grasas y Aceites	mg/L	< 6.94	10
Materia Flotante	—	Ausente	Ausente
Nitrogeno Total	mg/L - N	23.70	20
pH (in-situ)	—	8.59	6 a 9
Sólidos Suspensos	mg/L	18.50	100
Temperatura Promedio (in-situ)	°C	21.7	TCR +/- 7
Coliformes fecales	NMP/100ml	3,500,000	< 10,000

Continuación del apéndice 3.



9^a Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
Página Web: ecoquimsa.com
PBX (502) 2322 3600

Analisis	Dimensional	Resultados	LMP
Ansénico	mg/L - As	0.0064	0.1
Cadmio	mg/L - Cd	< 0.010	0.1
Cloruro	mg/L - Cl ⁻	< 0.006	1
Cobre	mg/L - Cu	0.062	3
Dromo (M)	mg/L - Cr	< 0.01	0.1
Mercurio	mg/L - Hg	0.0014	0.01
Níquel	mg/L - Ni	< 0.164	2
Plomo	mg/L - Pb	< 0.087	0.4
Zinc	mg/L - Zn	< 0.092	10

Le manifestamos que, al comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, con el Acuerdo Gubernativo 236-2008 - Reglamento de las descargas y relajo de aguas residuales y de la disposición de todos, los parámetros: Nitrógeno total y Coliformes fecales no cumplen con la normativa nacional vigente.

Sin otro particular, le referimos que para ECOQUIMSA es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA

Fuente: elaboración propia, realizado en Laboratorio ECOQUIMSA.