



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)
EN UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO
USANDO MEDIO DE SOPORTE PLÁSTICO TRATANDO AGUA
RESIDUAL DOMÉSTICA**

AUTORES:

TATIANA ALVARADO SUÀREZ - TANIA GUAMÁN PACALLA

TUTOR:

Msc. Ing.. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

GUAYAQUIL-ECUADOR

2022



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) EN UN REACTOR AERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO USANDO MEDIO DE SOPORTE PLÁSTICO TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	
AUTOR/ES: TATIANA MARÍA ALVARADO SUÁREZ TANIA DEL ROCÍO GUAMÁN PACALLA	REVISORES O TUTORES: MSC.ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS
INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL	Grado obtenido: INGENIERO CIVIL
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2022	N. DE PAGS: 121
ÁREAS TEMÁTICAS: ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN	
PALABRAS CLAVE: AEROBIO, DBO, SBR, MBBR	
RESUMEN: <p>En la actualidad, existe interés en eliminar los contaminantes de las aguas residuales domésticas que se han incrementado en los últimos años. De tal forma, se deben ejecutar acciones para disminuir la descarga de estos contaminantes que provienen de las aguas residuales.</p> <p>Actualmente, existe una búsqueda de nuevos y mejores diseños que permitan la implementación de sistemas de tratamiento confiables, de bajo costo y que ofrezcan mejores resultados. Por consiguiente, los reactores aeróbicos secuencial discontinuo (SBR) son una tecnología que se ha venido aplicando en los países desarrollados, debido a que ocupan menos espacio al ser diseñados. Se debe considerar que el tratamiento de aguas residuales mediante SBR se lleva a cabo en una secuencia de 4 etapas en donde se combina en un tanque el proceso</p>	

de: llenado, reacción, sedimentación y vaciado. Es decir, este proyecto consiste en evaluar la remoción de materia orgánica en términos de la demanda bioquímica DBO en un reactor aeróbico secuencial discontinuo usando medio de soporte plástico, proveniente de una planta piloto para el tratamiento de agua residual doméstica.

Abstract

Currently, there is interest in removing pollutants from domestic wastewater that have increased in recent years. Thus, these actions must be carried out to reduce the discharge of pollutants that come from wastewater. Currently, there is a search for new and better designs that allow the implementation of reliable, low-cost treatment systems that offer better results. Consequently, discontinuous sequential aerial air reactors (SBR) are a technology that has been applied in developed countries, due to the fact that they occupy less space when designed. It should be considered that the wastewater treatment by SBR is carried out in a sequence of 4 stages where the filling, reaction, sedimentation and emptying process is combined in a tank. In other words, this project consists of evaluating the elimination of organic matter in terms of the biochemical BOD demand in a discontinuous sequential aerobic reactor using plastic support medium, coming from a pilot plant for the treatment of domestic wastewater.

N. DE REGISTRO:	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: ALVARADO SUÁREZ TATIANA MARÍA GUAMÁN PACALLA TANIA DEL ROCÍO	Teléfono: 0959992711 0968391967	E-mail: talvarados@ulvr.edu.ec tguamanp@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Mgtr. Ing. Milton Gabriel Andrade Laborde Teléfono: (04) 2596500 Ext. 210 E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec Mgtr. María Eugenia Dueñas Barberán Teléfono: (04) 2596500 Ext:209 E-mail: mdueñasb@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

Tesis final

REGISTRAR LA ORIGINALIDAD

5% INDICE DE SIMILITUD	4% FUENTES DE INTERNET	0% PUBLICACIONES	4% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	mafiadoc.com Fuente de Internet	1%
2	www.iagua.es Fuente de Internet	1%
3	filtrosyequipos.com Fuente de Internet	1%
4	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1%
5	www.ecopreneur.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.onsalus.com Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	<1%
8	aguasindustriales.es Fuente de Internet	<1%
9	consultoriaempresariamaslimpias.blogspot.com Fuente de Internet	

20

Escaneado con CamScanner

		<1 %
10	Julia Mora Gómez. "Eliminación de contaminantes orgánicos emergentes mediante procesos electroquímicos de oxidación avanzada.", Universitat Politecnica de Valencia, 2020 Publicación	<1 %
11	Submitted to Instituto Politecnico Nacional Trabajo del estudiante	<1 %
12	Submitted to Universidad Adolfo Ibáñez Trabajo del estudiante	<1 %
13	www.agriculturayganaderia.com Fuente de Internet	<1 %
14	sofiaabigailpardo.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
16	Submitted to University of Lancaster Trabajo del estudiante	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado TATIANA MARIA ALVARADO SUAREZ Y TANIA DEL ROCIO GUAMAN PACALLA , declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, REMOCION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) EN UN REACTOR AEROBICO SECUENCIAL DISCONTINUO USANDO MEDIO DE SOPORTE PLASTICO TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMESTICA , corresponde totalmente al suscrito y meresponsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, comoproducto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autores



Firma: _____

TATIANA MARIA ALVARADO SUAREZ

C.I. 0956322069



Firma: _____

TANIA DEL ROCIO GUAMAN PACALLA

C.I. 0940973167

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación, REMOCION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) EN UN REACTOR AEROBICO SECUENCIAL DISCONTINUO USANDO MEDIO DE SOPORTE PLASTICO TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMESTICA, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: REMOCION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO) EN UN REACTOR AEROBICO SECUENCIAL DISCONTINUO USANDO MEDIO DE SOPORTE PLASTICO TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMESTICA, presentado por los estudiantes TATIANA MARIA ALVARADO SUAREZ Y TANIA DEL ROCIO GUAMAN PACALLA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



Firma: _____

PABLO MARIO PAREDES RAMOS.

C.I. 0911828150

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

A Dios por darme salud, sabiduría y sobre todo la oportunidad de cumplir mi sueño que es ser una profesional. Agradezco también A mi madre Luisa Suarez ya que sin su ayuda y apoyo no podría haber alcanzado mis metas. Agradezco también A mi padre Miguel Alvarado que me ha dado la fortaleza y ha sido uno de mis pilares a lo largo de mi vida. Agradezco también mi hermana Lisseth Alvarado que me ha brindado su ayuda en mi proyecto universitarios. A mi familia que me ha dado los ánimos para seguir adelante con mis estudios. le agradezco por su esfuerzo económico y familiar.

Finalmente le agradezco a mi tutor Mgs. Ing. Pablo Paredes por el interés que ha tenido en la tesis y sobre todo por su paciencia. Gracias a su apoyo se logró terminar con satisfacción la tesis de grado. A mis profesores Ms. Ing. July herrera, Lcdo. José Delgado, Ms. Ing. Alex Salvatierra, Ing. Luis Almeida por compartir sus conocimientos que fueron de gran ayuda en el transcurso de la carrera universitaria.

¡Gracias!

Tatiana María Alvarado Suarez

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de grado a Dios, porque me permitió realizar con éxito mi tesis, Además me ha dado fuerzas para terminar mi carrera universitaria. A mi madre porque me inculco valores y principios que me han ayudado a lo largo de mi carrera. A mi padre porque me ha brindado todo su apoyo y me ha dado aliento para seguir adelante. A mi hermana el cual soy su ejemplo a seguir y que ha estado junto a mí en los buenos y malos momentos. A toda mi familia que ha sido una parte fundamental en mi vida para continuar con mis proyectos universitarios

¡Gracias!

Tatiana María Alvarado Suarez

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

A Dios por darme salud, sabiduría y sobre todo la oportunidad de cumplir mi sueño que es ser una profesional. Agradezco también A mi madre ya que sin su ayuda y apoyo no podría haber alcanzado mis metas. Agradezco también A mi padre que me ha dado la fortaleza y ha sido uno de mis pilares a lo largo de mi vida. Agradezco también A mi hermana que me ha brindado su ayuda en mi proyecto universitarios. A mi familia que me ha dado los ánimos para seguir adelante con mis estudios. le agradezco por su esfuerzo económico y familiar

Finalmente le agradezco a mi tutor A mi tutor Mgs. Ing. Pablo Paredes por el interés que ha tenido en la tesis y sobre todo por su paciencia. Gracias a su apoyo se logró terminar con satisfacción la tesis de grado. A mis profesores Ms. Ing. July herrera, Lcdo. José Delgado, Ms. Ing. Alex Salvatierra, Ing. Luis Almeida por compartir sus conocimientos que fueron de gran ayuda en el transcurso de la carrera universitaria.

¡Gracias!

Tania del Roció Guamán Pacalla

DEDICATORIA

Dedico mi tesis de grado principalmente a Dios que me dio salud, vida, sabiduría y conocimiento para culminar mis estudios universitarios. A mi madre porque ha sido mi luz, ese pilar que necesitaba en los momentos más difíciles, gracias a su amor y su apoyo que me motivaron a superarme y seguir adelante con mis proyectos. A mi papá por estar conmigo y darme consejos cada día de que si se quiere algo hay que luchar y después se verá la recompensa. A mis cuatros hermanos que estuvieron ayudándome y apoyándome cuando más lo necesitaba. A mis sobrinos que estuvieron ahí viendo como su tía se esforzaba y de esta forma motivarlos a que deben estudiar para alcanzar sus metas.

¡Gracias!

Tania del Roció Guamán Pacalla

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	1
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	1
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	1
ÍNDICE DE ANEXOS.....	1
CAPÍTULO I.....	1
1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Tema	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.3 Formulación del problema	1
1.4 Sistematización del problema	2
1.5 Objetivos de la Investigación.....	2
1.5.1 Objetivo General	2
1.5.2 Objetivos Específicos.....	2
1.6 Justificación de la investigación	2
1.7 Delimitación o Alcance de la Investigación	3
1.8 Hipótesis	3
1.8.1 Variable Independiente.....	4
1.8.2 Variable Dependiente	4
1.9 Línea de Investigación	4
CAPÍTULO II.....	5
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Marco Referencial	5
2.1.1 Antecedentes	5
2.1.2 Reactor Secuencial Discontinuo (SBR).....	5
2.1.2.1 Operación De SBR.....	6
2.1.2.2 Mantenimiento de un SBR	10
2.1.2.3 Funcionamiento SBR	11
2.1.2.4 Construcción de un Sistema de Reactor Secuencial Discontinuo	11

2.1.2.5	Descripción del Tanque y del Equipo.....	13
2.1.3	Desempeño	13
2.1.4	Reactor Anaerobio de Contacto	14
2.1.5	Demanda Bioquímica de Oxígeno	15
2.1.5.1	Remoción de DBO	16
2.1.5.2	DBO 5	17
2.1.5.3	La DBO como Indicador de Contaminación.....	18
2.1.5.4	Para que me sirve la DBO	19
2.1.5.5	Factores que Afectan el Ensayo de DBO 5	20
2.1.6	Tratamiento de Aguas Residuales	20
2.1.6.1	Tratamiento Preliminar	20
2.1.6.2	Tratamiento Primario	22
2.1.6.3	Tratamiento Secundario.....	26
2.1.6.4	Tratamiento Terciario.....	28
2.1.7	Sistemas Alternos de Tratamiento de Aguas Residuales	31
2.1.7.1	Medio Plástico de Empaque	31
2.1.8	Reactor de Mezcla Completa	32
2.1.9	Agitación Dentro del Reactor de Mezcla Completa	32
2.1.10	Variables Utilizadas para el Diseño de Reactores de Mezcla Completa	33
2.1.11	Sistemas con Reactores Aeróbicos para Tratar Aguas Residuales.....	34
2.1.12	Sistemas de Tratamiento con Lagunas	34
2.1.12.1	Lagunas Aireadas (Aerobias)	35
2.1.12.2	Lagunas Anaerobias.....	36
2.1.13	Clasificación de los Reactores Aeróbicos.....	36
2.1.14	Diseño de los Filtros Percoladores	38
2.1.15	Filtros de Lecho Móvil	38
2.1.15.1	Funcionamiento MBBR.....	39
2.1.15.2	Ventajas MBBR	39
2.1.15.3	Carriers MBBR	40
2.2	Marco Conceptual.....	43
2.2.1	Aguas Servidas	43
2.2.2	Componentes de las Aguas Servidas	43
2.2.3	Contaminantes Importantes de las Aguas Residuales	43
2.2.4	Tipos de Aguas Residuales.....	45
2.2.5	Impacto Ambiental de las Aguas Servidas	45

2.2.6	Bacterias en las Aguas Residuales	46
2.2.7	Efecto Mundial	46
2.3	Marco legal.	47
2.3.1	Ley de la Constitución del Ecuador.....	47
CAPITULO III	57
3	Metodología De Investigación.	57
3.1	Metodología.....	57
3.2	Aspectos Metodológicos.....	57
3.3	Tipo de Investigación.	57
3.3.1	Investigación Experimental.	57
3.4	Enfoque de la Investigación.	58
3.4.1	Enfoque Cuantitativo	58
3.5	Técnicas de la Investigación.	58
3.5.1	Investigación de Campo.	58
3.5.2	Investigación Documental.	59
3.6	Diseño y Fabricación del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo.	59
3.6.1	Infraestructura del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo.	59
3.7	Materiales para la Construcción del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo.	61
3.7.1	Fabricación del cilindro.	61
3.7.2	Fabricación del soporte del reactor.....	61
3.7.3	Gasfitería.....	62
3.7.4	Agitador.....	62
3.8	Proceso de Construcción del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo.....	63
3.8.1	Implementación de Planta Piloto (Reactor Aeróbico Secuencial)	63
3.8.2	Elaboración del Reactor Aeróbico Secuencial (motor)	67
3.8.3	Obtención y Vertido del Agua Residual Domestica	72
3.9	Experimento con el Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo	73
3.9.1	Fase Previa del Experimento	73
3.9.1.1	Prueba Piloto del Equipo	74
3.9.1.2	Indicadores de Volumen y Caudal para el Experimento.	74
3.9.2	Procedimiento de Operación del Reactor Aeróbico Secuencial.	75
3.9.2.1	Llenado del Reactor.....	75
3.9.3	Proceso de las Pruebas.....	77
3.9.3.1	Prueba Muestra.....	77
3.9.3.2	Prueba 1	78

3.9.3.3	Prueba 2	79
3.9.3.4	Prueba 3	80
3.9.3.5	Prueba 5	81
3.9.4	Aireación y Agitación.....	82
3.9.5	Tiempo de Reposo.....	82
3.9.6	Toma de Muestra.....	83
3.9.7	Vaciado del Reactor	83
3.9.8	Limpieza del reactor	83
4	CAPITULO IV.....	84
4.1	Análisis de Resultados.....	84
4.2	Resumen de Resultados	88
4.2.1	Determinación del tiempo óptimo de los procesos de tratamiento de aguas residuales en función de la remoción adecuada de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	90
4.3	Efectividad y porcentaje de remoción de DBO ₅ en los procesos efectuados	92
4.4	Evaluación de resultados de laboratorio	92
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES.....	95
	Referencias Bibliográficas	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Clave de Diseño para Tasas de Carga Convencionales Parámetros de diseño del sistema tanto para aguas industriales y municipales	12
Tabla 2:Cantidad de DBO según el Tipo de Agua	15
Tabla 3: Característica de Rejas de Separación de Sólidos	21
Tabla 4:Tipos de MBBR.....	41
Tabla 5:Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público	51
Tabla 6:Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.....	53
Tabla 7:Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Marina.....	55
Tabla 8:Resultados de Laboratorio Análisis de DBO Prueba Inicio.....	84
Tabla 9:Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 1	85
Tabla 10:Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 2.....	86
Tabla 11:Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 3.....	87

Tabla 12:Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 4.....	88
Tabla 13:Resumen de Resultados de Laboratorio	89
Tabla 14:Efectividad y Porcentaje de Remoción de DBO	89

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Etapa de llenado	6
Figura 2: Etapa de Reacción	8
Figura 3: Etapa de Sedimentación	8
Figura 4: Etapa de Vaciado.....	9
Figura 5: Sistemas Mediante Reactores Aeróbicos	14
Figura 6: Concentración de Oxígeno Residual	19
Figura 7 : Rejillas Finas.....	21
Figura 8 : Proceso de Coagulación--Floculación	25
Figura 9: Digestión de los Lodos.....	27
Figura 10: Proceso de Decantación.....	28
Figura 11 .Tratamiento Terciario	29
Figura 12 : Reactores de Mezcla Completa en Serie.....	33
Figura 13: Proceso de reactores de Biomenbrana	36
Figura 14 : Filtros Percolado.....	38
<i>Figura 15:</i> Esquema Funcional Biorreactor MBBR+Decantador Secundario	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Bosquejo del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo.....	60
Ilustración 2: Cilindro de Acrílico con su Orificios y Medidas.	60
Ilustración 3: Soporte plástico.....	61
Ilustración 4: Soporte Cuadrado.....	64
Ilustración 5: Cilindro Acrílico	65
Ilustración 6: Tanque Reservorio	65
Ilustración 7: Colocación de Accesorio que une al Tanque Reservorio.....	66
Ilustración 8: Llave de paso de 1 pulgada de PVC	66
Ilustración 9: Conexión de Codo PVC	67
Ilustración 10: Motor de 1 hp de potencia.....	68
Ilustración 11: Sistema de Poleas	68
Ilustración 12: Motor de 1 Hp potencia.....	69
Ilustración 13: Soporte para el motor	70
Ilustración 14: Conexiones de tuberías.....	70
Ilustración 15: Manguera conectada para el compresor.....	71
Ilustración 16: Prueba del reactor.....	71
Ilustración 17: Obtención de AASS	72

Ilustración 18: Vertido de AASS hacia el tanque PVC	73
Ilustración 19: Prueba piloto del equipo.....	74
Ilustración 20: Filtro MBBR	76
Ilustración 21: Prueba de entrada	78
Ilustración 22: Toma de muestra#1	79
Ilustración 23: Toma de muestra#2	80
Ilustración 24: Toma de muestra#3	81
Ilustración 25: Toma de muestra#4	82
Ilustración 26: Toma de muestra con llave de paso.....	83

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Porcentaje de Remoción DBO5	90
Gráfica 2: Variación de DBO de las pruebas	91

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1: Resultados obtenidos de la Prueba Muestra sin tratar	102
Anexos 2: Resultado obtenidos de la primera muestra	103
Anexos 3: Resultado obtenidos de la segunda muestra.....	104
Anexos 4: Resultado obtenidos de la tercera muestra	105
Anexos 5: Resultado obtenidos de la cuarta muestra	106

CAPÍTULO I

1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Tema

Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un reactor aeróbico secuencial discontinuo usando medio de soporte plástico tratando agua residual doméstica.

1.2 Planteamiento del Problema

Los reactores aeróbicos secuencial, son una técnica de gran utilidad que busca solucionar un problema representativo para los países que se encuentran en vía de desarrollo. Además, estos reactores son una tecnología versátil en el campo de tratamiento de aguas residuales domésticas, conveniente a su fácil manejo de operación y automatización. Debido a la inadvertencia de la población, al descargar las aguas tratadas con carga orgánica elevada ha presentado una mayor preocupación. A partir de ello, hemos visto la oportunidad de plantear un sistema alternativo para la remoción de carga orgánica mediante el tratamiento de aguas residuales. Se pretende, implementar una Planta Piloto de reactor aeróbico secuencial discontinuo en la Prosperina Coop 31 Agosto Mz 2137 solar 10. Luego, se iniciará la implementación del reactor biológico secuencial de tipo aeróbico en la Prosperina sector norte de la ciudad de Guayaquil probando con diferente tiempo de sedimentación de agua para obtener los mejores porcentajes de remoción de Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) y establecer diferencias entre cada muestreo. Es decir, este estudio está destinado a reducir la cantidad de materia orgánica en términos de (DBO) usando un medio de soportes plásticos tratando agua residual doméstica y mejorar el rendimiento de la planta piloto y todo su proceso de tratamiento.

1.3 Formulación del problema

¿Es viable el porcentaje de remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del agua residual doméstica en un reactor aeróbico secuencial discontinuo usando medio de soporte plástico?

1.4 Sistematización del problema

- ¿Qué factores serán necesarios evaluar, para que la remoción mediante un soporte plástico con planta piloto funcione de manera óptima?
- ¿Es posible lograr altas tasas de remoción de materia orgánica en un reactor aeróbico secuencial discontinuo usando un soporte plástico tratando agua residual doméstica?
- ¿Es posible construir una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales que cumpla con las normas técnicas y con el menor costo en comparación con las convencionales?

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General

Evaluar la remoción de la demanda bioquímica DBO en un reactor aeróbico secuencial discontinuo usando medio de soporte plástico, proveniente de una planta piloto para el tratamiento de agua residual doméstica.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Registrar los mejores tiempos de aireación y sedimentación del agua residual doméstica para obtener resultados favorables en la reducción de la DBO en un reactor aeróbico.
- Determinar la cantidad necesaria de inóculo de lodo activado para obtener una óptima remoción de demanda bioquímica de oxígeno.
- Construir una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales doméstica.

1.6 Justificación de la investigación

En los últimos años ha aumentado el interés en radicar los contaminantes provenientes de las aguas residuales domésticas que cumpla con las normas de calidad respectiva.

Últimamente, existe una búsqueda de nuevos y mejores diseños de tratamiento de aguas residuales y con la implementación de menor costo. Al mismo tiempo, este sistema permite reducir la concentración de DBO proveniente de las aguas residuales para obtener mejores resultados. Por consiguiente, la ventaja de los reactores discontinuos secuenciales es el único sistema en el cual requiere de un solo tanque para realizar todo el proceso.

De igual forma, este sistema es de gran utilidad, a su vez permite la eliminación de los nutrientes en comparación con los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales. En la actualidad, existen centros urbanos y rurales que aún no cuentan con las áreas para llevar a cabo una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Por esta razón, este proyecto se enfocó en determinar la eficiencia que tiene el reactor aeróbico secuencial discontinuo implementando un soporte plástico en su interior para disminuir la concentración de DBO. Es decir, se pretende tener un sistema de agua residual doméstica que sirva para obtener agua de calidad que cumpla con las normas nacionales e internacionales en cuanto a su vertimiento a un cuerpo de agua.

1.7 Delimitación o Alcance de la Investigación

Campo:	Educación Superior. Tercer Nivel
Área:	Ingeniería Civil.
Aspecto:	Investigación Experimental.
Tema:	Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un reactor aeróbico secuencial discontinuo usando medio de soporte plástico para el tratamiento de agua residual doméstica.
Delimitación espacial:	Guayaquil-Ecuador/ Planta Piloto ULVR.
Delimitación temporal:	6 meses.

1.8 Hipótesis

Se obtendrá un óptimo rendimiento del reactor aeróbico secuencial discontinuo aumentando el porcentaje de la remoción de materia orgánica usando un medio de soporte

plástico mediante la metodología aeróbica y cumpliendo con las normas nacionales o internacionales en cuanto a su vertimiento en un alcantarillado público o a un cuerpo de agua.

1.8.1 Variable Independiente

Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en un reactor aeróbico secuencial discontinuo.

1.8.2 Variable Dependiente

Usando el medio de soporte de soporte plástico tratando aguas residuales domésticas.

1.9 Línea de Investigación

Línea 3. Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Antecedentes

Las descargas de aguas residuales, provenientes de proyectos, obras o actividades son una preocupación constante para la Autoridad Ambiental por la afectación que pueden generar, especialmente en los mares, ríos, lagos, lagunas y esteros, pues los compuestos tóxicos que llegan a los cuerpos de agua tienen efectos nocivos en la flora y la fauna. (Ambiente, 2017). En cierta medida, la contaminación del agua es uno de los principales problemas que existe a nivel mundial. Para mitigar la contaminación del agua y dar un tratamiento a las aguas residuales se ha avanzado en gran medida en la tecnología usada para este fin. De tal manera en la actualidad los diferentes tipos de procesos de tratamiento de estas aguas no significan un gran gasto. Se han simplificado los procesos, así como los sistemas de control y en casos particulares se puede recuperar la totalidad de la inversión al generar biocombustibles siendo esta una buena inversión con réditos tanto económicos como ambientales.

2.1.2 Reactor Secuencial Discontinuo (SBR)

Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. Se debe considerar que el tratamiento de aguas residuales mediante SBR se lleva a cabo en secuencia en 4 etapas proceso combina en un mismo tanque: llenado, reacción, sedimentación y vaciado.

Este sistema se define como una variación del proceso de lodos activados convencionales que consiste en una secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Su propósito es la eliminación de materia orgánica biodegradable y de nutrientes en las aguas residuales. Este proceso tiene varias fases en donde se puede incluir distintas series de tratamientos: anaerobios, aerobios, anóxicos o la combinación de los mismos. Resultando finalmente en la sedimentación (Domus-Agua, 2019).

Se puede optimizar este proceso para el tratamiento de aguas servidas al colocar dos o más reactores discontinuos en una secuencia predeterminada de operación. Este sistema ya ha sido probado con éxito en el tratamiento de aguas servidas domiciliarias e industriales, su uso es mayormente práctico para el tratamiento de aguas servidas de caudales bajos.

2.1.2.1 Operación De SBR

Los reactores SBR establecen su funcionamiento en una técnica de llenado y vaciado. Los métodos se llevan a cabo en un solo reactor y siguen un proceso de llenado, reacción sedimentación y vaciado. El tiempo depende de las tipologías del agua residual y los requisitos legales a cumplir, y sigue esencialmente las siguientes etapas:

- **Etapa de Llenado:**

En el llenado en este período puede ser estático combinada o aireada resultando de los propósitos que se tengan conocidos para el tratamiento del agua residual. En el llenado estático resulta una entrada pequeña de energía y una conglomeración alta de sustrato se puede manifestar desnitrificación, y crear circunstancias facilitas para la eliminación del fósforo. En la etapa de llenado es la primera etapa del proceso de remoción de tipo aerobio de DBO5, para lo cual en ese proceso hay que trabajar con el mismo caudal para los procesos y de esta forma poder llegar a una comparación entre sí. Esta etapa puede ser estática, aireada o mezclada para este proyecto que es de tipo aeróbico, es decir con presencia de oxígeno.

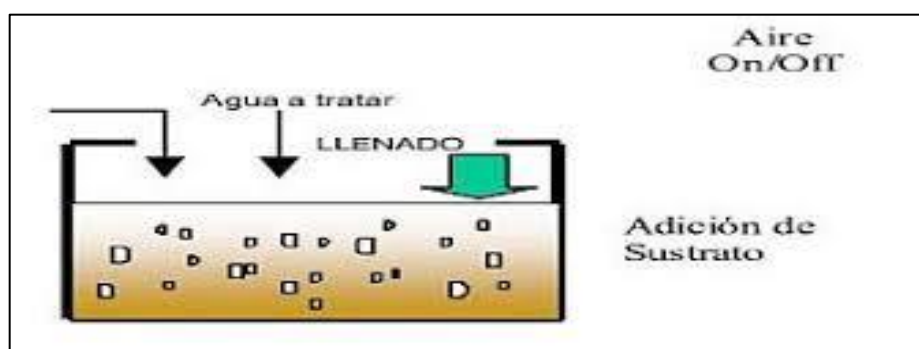


Figura 1: Etapa de llenado

Fuente: Ruinet (2017)

Llenado Estático o Anaeróbico: En esta etapa es sin aireación o mezcla es utilizado para producir AGV como acetato y ácido fórmico estos compuestos son necesarios para originar la remoción biológica de fósforo.

Llenado con Mezcla: este proceso es sin aireación es más utilizado para promover la desnitrificación biológica y sobre todo el control de microorganismos filamentosos (bacterias depuradoras).

Llenado Aireado: En este caso se empleó el de aireación para reducir la carga orgánica y a su vez promover la remoción biológica de fósforo si esta fase es precedida por una fase de llenado estático. La aireación puede lograrse mediante la mayoría de los sistemas de aireación tradicionales incluyendo: difusores, mecánicos, jet, etc. (Taersa, 2016)

- **Etapa de Reacción:**

Esta etapa es más conocida como mezclado, en donde el agua residual doméstica actúa mediante los giros y de esta manera se forma la biomasa. Es en esta fase en la que se produce el proceso de depuración propiamente dicho con la eliminación de la materia orgánica, del fósforo, la nitrificación y la desnitrificación. La mezcla se mantiene en agitación y puede estar o no aireada, habiendo fases aerobias y fases anaerobias y anóxicas, que se determinarán en función de los objetivos de tratamiento buscados. (s.f, 2016)

Habitualmente se dotan condiciones de mezcla, en las que se admite el elegida consumo de sustrato en situaciones ambientales fiscalizadas que pueden ser aerobias, anaerobias o anóxicas, estar en manos de la secuencia de tratamiento elegida.

En esta etapa el agua residual doméstica ingresa después del pretratamiento en el reactor, por consiguiente, se mezcla con ellicor mixto. A la vez se reemplazan períodos óxidos (aireación) y anóxicos (agitadores que están en funcionamiento para conservar el fango suspendido).

A lo largo de este proceso no hay ingreso de efluente al reactor y la aireación y la mezcla tienen la posibilidad de ser sucesivas o intermitentes según sea primordial. El fin de esta aireación y mezcla es terminar la degradación de la DBO, impulsar la nitrificación y retención biológica de fósforo (si hay etapa de llenado estático)

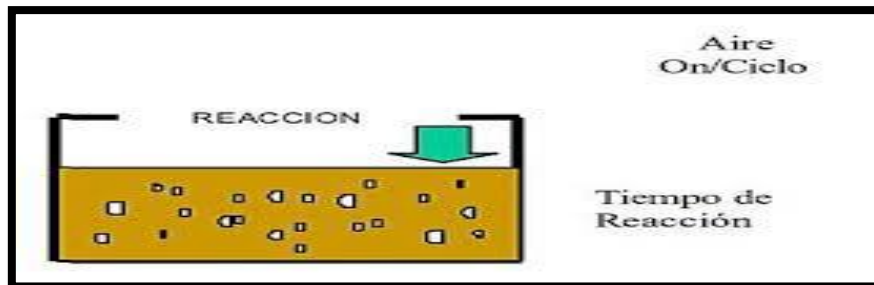


Figura 2: Etapa de Reacción

Fuente: Ruinet (2017)

- **Etapa de Sedimentación:**

La obtención del lodo es otro paso de suma importancia en la operación de este tipo de reactores, que afecta en gran medida el rendimiento. Su objetivo es la regulación de la concentración de sólido en el lodo en el reactor. Este lodo podría obtenerse en la última parte de la etapa de reacción o a lo largo de la etapa de sedimentación. Los sólidos se dejan separar del líquido en condiciones de quietud, lo cual resulta en un sobrenadante clarificado que podría ser descargado como efluente. El tiempo de asentamiento puede durar entre 0,5 y 1,5 h, y evita que el manto de sólidos flote gracias a la acumulación de gas. El proceso de aireación se detiene para que los sólidos se sedimenten en el fondo del reactor y dejando el agua clarificada en la parte superior del tanque.



Figura 3: Etapa de Sedimentación

Fuente: Uchile(S.f)

- **Etapa de Vaciado:**

El sobrenadante clarificado se descarga del reactor como efluente, mediante un mecanismo que debe ser diseñado y operado de manera que se evite que el material flotante sea descargado. El exceso de lodo activado residual también se remueve, empleando un tiempo que puede variar desde un 5 a un 30 % del tiempo total. El proceso hecho en un SBR puede dar muchas ventajas para aplicaciones en investigación: el control de las condiciones de funcionamiento es más fiable, preciso y versátil, la recolección de datos mediante sensores de toma de muestras y en línea se hace más fácil y los resultados son más representativos.

Esta etapa es conocida como la última, en la cual consiste en desalojar el agua ya tratada para su respectivo análisis en el laboratorio y de esta forma obtener los resultados de remoción. El agua residual se pone más clara en comparación con las aguas residuales no tratada, donde debe tomarse la muestra de unos 5 a diez minutos desde la lámina de agua. Así mismo, la operación y el funcionamiento en un mismo tanque posibilita el ahorro en precios de capital y además cuenta con ventajas como por ejemplo la posibilidad de ajustar y modificar la duración de los distintos procesos de tratamiento, control final de cada reacción biológica, así como además de la calidad del efluente.

El resurgimiento del interés en el estudio de los SBR se limitó inicialmente a aplicaciones de tratamiento de los pequeños generadores de aguas residuales. Sin embargo, la necesidad de una mayor eficiencia en la eliminación de nutrientes, bajo límites cada vez más estrictos se ha traducido en la adopción de la tecnología SBR en instalaciones tan grandes como las que tratan 660 L/s. (Paredes, 2016)



Figura 4: Etapa de Vaciado

Fuente: Eva Ortiz Llopis (2017)

2.1.2.2 Mantenimiento de un SBR

Los reactores secuenciales discontinuos disminuyen los procesos de operación y mantenimiento, pues dichos principalmente prescinden de clarificadores primarios y secundarios, que si se aplican por separado en la mayoría de los sistemas municipales. En los sistemas usuales de expulsión de nutrientes biológicos, hace falta el trabajo de mantenimiento para manejar cuencas anóxicas, mezcladoras, equipos de aireación de cuencas tóxicas, bombas internas de recirculación de nitrato y nitrógeno. Por otro lado, los Reactores Secuenciales Discontinuos se disminuyen todas estas obligaciones de mantenimiento al hacer el mismo trabajo operando con equipo de aireación / mezcla.

Este sistema de un reactor secuencial discontinuo, solicitan de mayor mantenimiento que un sistema normal de lodos activos, los sistemas de control, las válvulas automáticas y los interruptores automáticos, al ser estos la parte esencial del reactor. Por consiguiente, al subir el grado de sofisticación de los controles de una planta principalmente además se eleva el número de recursos que tienen la posibilidad de fracasar o solicitar mantenimiento, a medida que más grande sea la planta mayor va a ser el grado de sofisticación de sus controles, por ende, será también mayor el nivel de mantenimiento en las válvulas e interruptores automáticos.

Los Reactores Secuenciales Discontinuos, además tienen la posibilidad de asociarse con flexibilidad operativa significativa. Puesto que se puede configurar dichos reactores para aparentar las condiciones de cualquier planta usual de lodos activos, incluso las de supresión de nutrientes biológicos BNR. Un ejemplo claro de esto podría ser al modificar los tiempos de espera en el modo de reacción aireada, variando el tiempo de retención hidráulica HRT del típico 3.5 a 7 horas para simular un sistema de estabilización de contacto o elevando el tiempo HRT de 18 a 36 horas para un sistema de procedimiento de aireación.

Para una planta de supresión de nutrientes biológicos, tiende a alternarse los procedimientos de reacción aireado y mixta para lograr hacer la nitrificación y la desnitrificación. Se puede utilizar el método de llenado mixto y el método de reacción mixta

para conseguir la desnitrificación utilizando condiciones anóxicas. Inclusive se puede eliminar fósforo haciendo uso de estos métodos en última instancia para lograr condiciones anaeróbicas. Los reactores secuenciales discontinuos operan en el tiempo, no en el espacio, lo cual le posibilita variar la proporción de ciclos por día y mantener el control de los parámetros del efluente deseado, dando así mayor flexibilidad. Sin embargo, los sistemas convencionales de lodos activados necesitan de un solo tanque con un volumen adicional para conseguir la misma flexibilidad.

2.1.2.3 Funcionamiento SBR

Los reactores discontinuos es una variación del proceso de lodos activados, al contrario, con el reactor continuo donde el agua residual es introducida en un tiempo determinado. Ambos procesos tanto la degradación bioquímica de los contaminantes y la separación de la biomasa se realizan en un solo tanque. En un reactor secuencial discontinuo requieren de mayor mantenimiento que los sistemas convencionales.

2.1.2.4 Construcción de un Sistema de Reactor Secuencial Discontinuo

Los reactores secuenciales discontinuos requieren de un área menor que las plantas convencionales para el tratamiento de lodos activados. Definitivamente, el área del sitio donde se necesita el reactor es el que determinará el tamaño del mismo. La construcción del tanque de reactor es más sencilla comparada con los sistemas convencionales, pero este sistema elimina la necesidad de bombas, además de los conductos de lodo activado. Por otro lado, este sistema elimina por completo la necesidad de recirculación interna de licor suspendido mezclado (MLSS). Sin embargo, el sistema de operaciones es más complejo pues porque este incluye interruptores y válvulas automáticas.

Según los fabricantes de estos reactores, en Estados Unidos utilizan estos reactores para el sistema de aguas servidas pequeñas, con una cantidad menos de 2 MGD (millones de galones diarios) y a su vez recomiendan que se usen estos reactores en comunidades pequeñas.

Cuando se determinan las propiedades del afluente y el efluente, el ingeniero comúnmente consulta con productores de SBR referente a las sugerencias de diseño. Basado en dichos límites o parámetros para el lugar de procedimiento, como por ejemplo la temperatura, se seleccionan los requerimientos clave de diseño del sistema. Un caso muestra de aquellos límites para la carga de un sistema de aguas residuales se apunta en la tabla.

Tabla 1:Clave de Diseño para Tasas de Carga Convencionales Parámetros de diseño del sistema tanto para aguas industriales y municipales

Parámetros	Industrial	Municipal
Relación alimento a microorganismo (F/M)	0.15-0. /día	0.15 -0.6/día
Duración del ciclo de tratamiento	4.0 horas	4.0 – 24 horas
Concentración típica de sólidos suspendidos en el licor mezclado a nivel bajo de agua	2,000 – 2,500 mg/L	2,000 – 4,000 mg/L
Tiempo hidráulico de retención	6 – 14 horas	Varía

Fuente: AquaSBR Design Manual (S.f)

La operación de un reactor SBR se fundamenta en el inicio de llenado-descarga, el cual radica de los próximos 5 pasos básicos: Inacción, Llenado, Reacción, Sedimentación y Descarga. Más de un plan operacional es probable a lo largo de la mayor parte de aquellos pasos. Para aplicaciones de aguas residuales industriales comúnmente se necesitan estudios de tratabilidad para decidir la sucesión óptima de operación.

Para la mayor parte de las plantas de procedimiento de agua residual doméstica no se necesitan estos estudios para decidir la sucesión de operación pues el agua residual doméstica y sus variaciones propiedades son principalmente predecibles; además, la mayor parte de los diseñadores de aquel tipo de plantas usan diseños de tipo conservador.

2.1.2.5 Descripción del Tanque y del Equipo

Los sistemas de reactores secuenciales discontinuos están formados de cuatro partes fundamentales: tanque, equipos de aireación y mezcla, decantador y por último el sistema de control. El tanque del reactor se puede construir de acero o de hormigón dependiendo de lo que se vaya a realizar, para usos industriales se emplea tanques de acero recubiertos con anticorrosivo, por otro lado, para el tratamiento de aguas municipales se emplea tanques de hormigón. Para el proceso de mezclado y aireación existen algunas alternativas, se emplea los sopladores de desplazamiento positivo son los más usados para el diseño de estos sistemas de reactor, puestos que con estos se puede controlar la variación del nivel de caudal empleado en el reactor.

Por consiguiente, los decantadores permiten descargar el agua clarificada del tanque además son una parte fundamental para este tipo de reactor y hay de dos tipos: Flotantes y Fijos. Los decantadores flotantes tienen la ventaja de minimizar la eliminación de sólidos al efluente durante el paso de drenaje, es decir permite la descarga del agua clarificada del tanque al mantener el orificio de ingreso ligeramente por debajo de la superficie del agua. Los decantadores fijos pueden usarse si se extiende la fase de decantación, este tipo de decantadores disminuye la posibilidad de que floten los sólidos sobre el decantador fijo.

2.1.3 Desempeño

La efectividad de un sistema SBR es comparable a la de sistemas convencionales de lodos activados y depende del diseño del sistema y de criterios específicos del sitio de la planta. Los sistemas SBR logran una buena remoción de DBO y nutrientes dependiendo del modo de operación. Para los SBR la eficiencia de remoción de DBO generalmente es del 85 al 95 por ciento. Los fabricantes de sistemas SBR normalmente proveen una garantía de proceso para la producción de efluentes con máximo de:

10 mg/L de DBO

10 mg/L de SST

5 – 8 mg/L de nitrógeno total

1 – 2 mg/L de fósforo total (Admin, 2007)

2.1.4 Reactor Anaerobio de Contacto

El reactor anaerobio de contacto es esencialmente un reactor continuo y agitado con un tanque de sedimentación externo y un sistema de captura del biogás generado. Por lo regular este tipo de reactores no incorporan sistemas de retención ni recirculación de los microorganismos y la biomasa abandona el reactor junto con el efluente. Esto provoca una reducción de la concentración de ésta en el medio, aumentando el tiempo de tratamiento necesario para obtener la conversión deseada. Sin embargo, fue necesaria la utilización de un clarificador posterior al reactor debido a que el efluente contenía altas concentraciones de sólidos suspendidos totales.

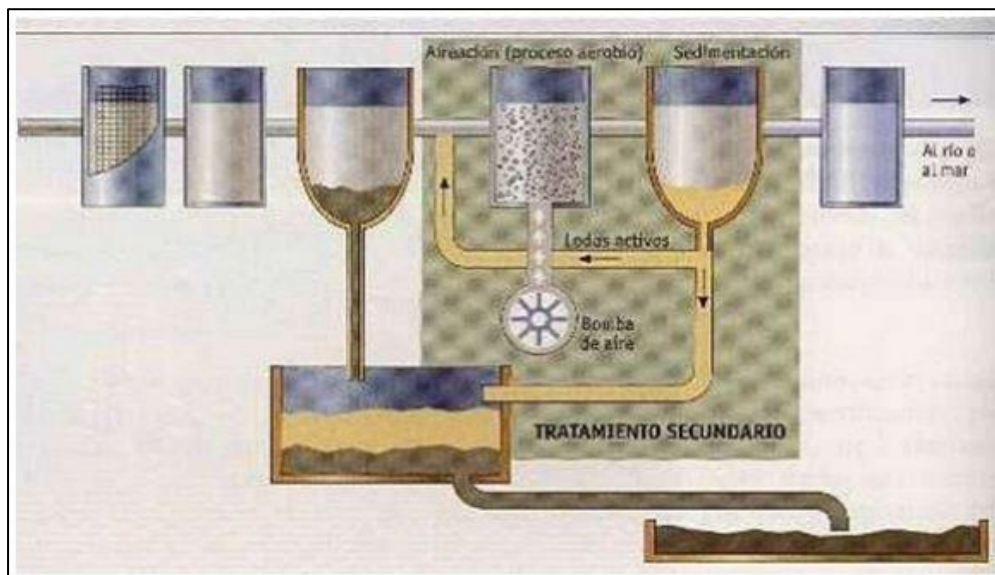


Figura 5: Sistemas Mediante Reactores Aeróbicos

Fuente: Condorchem Envitech (2021)

2.1.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se usa como una medida de cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua. (Ecuatoriana N. T., 2014) ``En las aguas negras domésticas, crudas y sedimentadas, el total de la demanda de oxígeno se debe a los materiales orgánicos carbonosos y se determina por la prueba de la DBO``.En condiciones normales de laboratorio, la DBO se determina a una temperatura de 20°C en un tiempo de 5 días, siendo expresado en mg/l O₂ y es conocido como DBO₅. La demanda bioquímica de oxígeno es el método más utilizado para medir la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos al proliferar en el agua residual y alimentarse de su materia orgánica. (Industrial, 2015)

Este procedimiento fue adoptado en 1936 por la Asociación Americana de Salud Pública, y desde entonces ha permanecido como un indicador de la contaminación. La DBO es uno de los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales (AR), como también en el control de agua potable. (Medina, 2019).

La DBO es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua. Es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación. La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a 20°C durante 5 días de manera estándar, denominándose DBO₅. (S.f, 2019)

Tabla 2: Cantidad de DBO según el Tipo de Agua

Tipo de Agua	DBO
Agua Pura	0-20 mg/l
Agua Levemente Contaminada	20-100 mg/l
Agua Medianamente Contaminada	100-500 mg/l
Agua Muy Contaminada	500-3000 mg/l

Fuente: Induanálisis (2019)

Las bacterias aeróbicas necesitan de oxígeno para oxidar la materia orgánica degradable presente en el agua. Las aplicaciones de DBO están las siguientes:

- Medición de la calidad en las aguas residuales
- Parámetros de Límites Máximos Permisibles
- Evaluación de las PTAR

El DBO_5 es la cantidad necesaria de oxígeno degradada por los microorganismos durante los primeros cinco días de la biodegradación. Las pruebas de DBO consisten en colocar la muestra de residuo (agua residual) en un recipiente cerrado para medir la concentración de oxígeno disuelto en la prueba inicial al cabo de 5 días, la diferencia de oxígeno disuelto dividida por el volumen de desperdicio (P).

$$DBO_{final} = \frac{OD_{inicio} - OD_{final}}{P}$$

2.1.5.1 Remoción de DBO

La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba usada para determinar la cantidad de oxígeno necesario para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas residuales. Además, permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. (s.f., 2020)

Es necesario, por tanto, controlar estos parámetros para asegurar una buena calidad de vertido a la vez que cumplimos con las normativas legales sin crear alteraciones medioambientales poniendo en peligro nuestro ecosistema, Para reducir la DBO_5 de un vertido

lo más adecuado son los procesos biológicos dentro de los cuales nos encontremos con distintas alternativas. (S.F., Hidritec, 2016)

En que consiste la DBO es la demanda bioquímica de oxígeno es el consumo necesario de oxígeno para que las bacterias de tipo aeróbica puedan degradar o descomponer la materia orgánica. En tal caso, es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica contenida en un volumen de agua sabiendo el valor de la DBO podemos deducir si el agua está contaminada o no o determinar si es aguas residuales domesticas o industriales.

La DBO de un agua residual domestica esta entre 200 a 300 ml / litro , la DBO de un agua de rio por ejemplo el río Daule esta entre 5 a 10 ml/litro determinamos que los valores de DBO bajo el agua no está contaminada y los DBO altos el agua puede ser doméstica en comparación con la industrial que es la más alta y esta entre el rango 500 a 5000 ml/ l existen más químicos y contaminación por los procesos industriales determinada por el consumo de oxígeno que hacen los microorganismo para degradar los compuestos biodegradables .

Las bacterias para poder vivir necesitan oxígeno y eso se le va a proporcionar para que pueda degradar la bacteria orgánica. las bacterias tienen el mismo ciclo biológico de las personas tiene una conversión total la materia orgánica se descompone y el agua sale tratada limpia es por la transformación a dióxido de carbono a gas y desaparece debemos incluir bacterias que sean adecuadas y proporcionar oxígeno al agua esto le llamamos el principio de la DBO.

2.1.5.2 DBO 5

La bacteria aeróbica a los 5 días está desarrollándose no tiene toda la capacidad de degradar la materia orgánica hay que esperar 5 días para que la bacteria se aclimate y pueda ejercer la función de alimentación toda la materia orgánica, pero si yo quiero un valor más real se tiene que esperar a los 15 o 20 días que es la última. El DBO5 es igual al 75% del DBO

último ejemplo si se obtiene un valor de DBO 5 un valor de 100 al esperar el DBO último $100/0.75$ este sería la DBO última el máximo alcance es a los 20 días.

2.1.5.3 La DBO como Indicador de Contaminación.

A finales de la centuria 19, “Dupré encontró que existía una relación entre la concentración del oxígeno disuelto en el agua (OD) y su grado de contaminación. A mayor cantidad de materia orgánica contenida en una muestra de agua, más cantidad de oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla o degradarla” (Lecca, 2015). La actividad biológica es inducida por los microorganismos en condiciones aeróbicas, dando como resultado que la materia orgánica pierda sus rasgos contaminantes. Aquí existe el intercambio del oxígeno del aire con el agua. La cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar residuos orgánicos de modo aeróbico se denomina DBO.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se usa como una medida de cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua. (Ramalho, 2003). En condiciones normales de laboratorio, la DBO se determina a una temperatura de 20°C en un tiempo de 5 días, siendo expresado en mg/l O₂ y es conocido como DBO₅. Este procedimiento fue adoptado en 1936 por la Asociación Americana de Salud Pública, y desde entonces ha permanecido como un indicador de la contaminación. La DBO es uno de los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales (AR), como también en el control de agua potable. (Lecca, 2015).

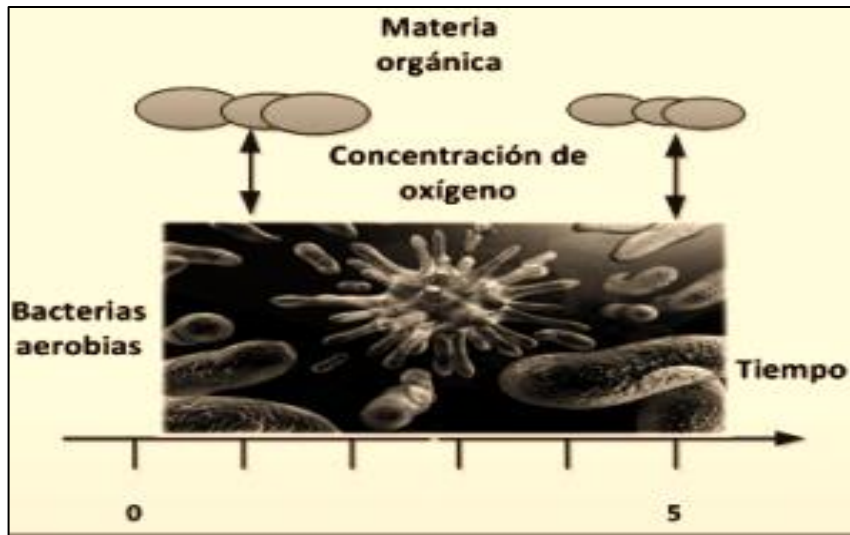


Figura 6: Concentración de Oxígeno Residual

Fuente: Eduardo Raffo – Edgar Ruiz (2017)

2.1.5.4 Para que me sirve la DBO

La DBO sirve para diseñar una planta de tratamiento de agua residual puedo utilizar la DBO_5 no es mucha la diferencia, pero si quiero ser más preciso procedemos a esperar los 20 días de la DBO última los dos sirven para cualquier análisis de aguas servidas.

- La relación entre la DQO y la DBO es usada para estimar la biodegradabilidad de un vertido si:
- DQO/DBO es mayor o igual a 2,5 es un vertido no biodegradable (aguas residuales industrial)
- DQO/DBO es menor a 2,5 es un vertido biodegradable (agua residual domestica)

Tanto la DQO como la DBO se emplean para determinar la calidad del agua o la carga contaminante de un vertido para diseñar las unidades de tratamiento biológico y para evaluar y / o controlar la eficiencia de los tratamientos DBO_5 la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición (materia orgánica que sirve como alimento a las bacterias y que su oxidación genera energía) en condiciones aeróbicas.

- La prueba de la DBO es un procedimiento de bioensayo que mide el oxígeno consumido por las bacterias al utilizar la materia orgánica de un residuo
- La temperatura para realizar la prueba es de 20 grados c que es la temperatura media de las aguas naturales.

Teóricamente se requiere un tiempo infinito para que finalice la oxidación biológica de la materia orgánica, pero para fines prácticos la reacción se considera completamente en 20 días en aguas residuales domésticas el valor de la DBO a los cinco días representa el 65 al 80 % del total de la materia orgánica oxidable.

2.1.5.5 Factores que Afectan el Ensayo de DBO 5

Puesto que este procedimiento es un bioensayo, es de suma importancia que las condiciones ambientales sean apropiadas para que la actividad de los organismos vivos permanezca sin obstáculos

- No debe haber sustancias tóxicas
- Debe haber disponibilidad de nutrientes
- Buena población de microorganismos
- Oxígeno suficiente

2.1.6 Tratamiento de Aguas Residuales

2.1.6.1 Tratamiento Preliminar

Se utilizan con el fin de preparar las aguas residuales para el inicio del tratamiento, con el fin de lograr la eliminación de materiales flotantes, arenas para proteger los equipos que constituyen parte del sistema de tratamiento de aguas residuales, y a su vez mejorar el aspecto estético de las aguas. En otras palabras, en el pretratamiento consiste en eliminar los materiales sólidos de mayor tamaño que llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales. Por consiguiente, estos sólidos si no son eliminados rápidamente, pueden llegar a producir graves problemas en los equipos. Al mismo tiempo las piedras, arenas, latas, entre otras, producen deterioro de las tuberías y de las conducciones, así como de las bombas.

Los aceites y grasas que pasan por este proceso también son eliminados con el fin de evitar que el tratamiento biológico se ralentice, su rendimiento disminuya, así como la calidad del efluente. Además, para ello se emplea tanto operaciones físicas como mecánicas. Por

último, las principales operaciones que pueden llegar a utilizarse en función de la procedencia del agua residual a tratar, de su calidad o de los tratamientos posteriores son:

Separación de Grandes Sólidos:

En este proceso se realiza siempre que las aguas a tratar puedan contener sólidos de gran tamaño, para ello se hace uso de este sistema que consiste en un pozo situado a la entrada del colector que permita concentrar los sólidos gruesos y finos, las arenas decantadas en una zona específica donde se puedan extraer de una forma eficaz.

En esta etapa se utilizan los siguientes accesorios:

Tabla 3: Característica de Rejas de Separación de Sólidos

Tipos de Rejas	Características de las Rejas
Rejas gruesas	Eliminan los residuos de gran tamaño.
Rejas finas	Sirve para impedir el paso de sólidos de menor tamaño.
Cedazos finos	Rejillas con una separación de 1/4" a 1/32"

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)



Figura 7 : Rejillas Finas

Fuente: *agua (2016)*

Desbaste: Esta operación evita impedimentos de partes posteriores de la instalación por la llegada de grandes cantidades de sólidos. Es decir, consiste en el uso de rejillas con distintas separaciones entre barros con el fin de separar los sólidos según su tamaño.

Tamizado: Esta operación está indicada cuando las aguas residuales contienen grandes cantidades de sólidos flotantes o residuos. Para este tipo de operación se emplean tamices de distinto grosor.

Desarenado: Permite eliminar partículas sólidas superiores a 200 micras que puedan ocasionar problemas de taponamiento de conducciones o bombas o abrasiones en los distintos equipos.

Desaceitado-desengrasado: Permite eliminar las grasas, aceites, y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que puedan distorsionar los procesos de tratamiento posteriores. Se efectúan normalmente por insuflación de aire con el fin de desmenuzarse y aumentar la flotación de las grasas.

2.1.6.2 Tratamiento Primario

Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración. (Cyclus, s.f.)

Además, el tratamiento primario es capaz de eliminar no solamente la materia que perturba sino también una fracción significativa de la carga orgánica este a su vez puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos en suspensión.

Sedimentación

Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa tenga un recorrido descendente, colocándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas. Esta operación será más efectiva cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a

separar del agua, por lo tanto, cuanto más sea su velocidad de sedimentación, siendo el primero de los parámetros de diseño para estos equipos. Este proceso también es conocido como decantación.

El objetivo fundamental de la decantación primaria es doble:

Permite excluir los sólidos en suspensión (en un 60%, aproximadamente) presentes en las aguas residuales y la materia orgánica (en un 30%, aproximadamente) y, por otra parte, preservan los procesos posteriores de oxidación biológica de la intrusión de fangos inertes de densidad elevada. La forma de los equipos donde llevar a cabo la sedimentación es variable, ya sea en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.).

- Sedimentadores rectangulares: En este tipo de sedimentador la velocidad de desplazamiento horizontal del agua es constante, es decir, usualmente se utilizan para separar partículas densas y grandes (arenas). Además, estos equipos son poco profundos.
- Sedimentadores circulares: En este tipo de sedimentadores el flujo de agua suele ser radial desde el centro hacia el exterior.
- Sedimentadores lamelares: Han surgido como una alternativa a los sedimentadores rectangulares, al conseguirse una mayor área de sedimentación en el mismo espacio. Este equipo consiste en tanques de poca profundidad que comprende paquetes de placas (lamelas) o tubos inclinados respecto a la base, y por cuyo interior se hace fluir el agua de manera ascendente. En su superficie inferior se van almacenando las partículas, y a su vez se desplazan de forma descendente y recogiéndose en el fondo del sedimentador. Las partículas acumuladas en el fondo de los equipos (también llamado fangos) se arrastran mediante rasquetas a partir del fondo donde se “empujan” hacia la salida.

Flotación

La flotación posibilita retirar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta el área del fluido, es decir, las fuerzas que trabajan hacia arriba

(rozamiento y empuje del líquido) sobrepasan a la fuerza de la gravedad. Se fundamenta en la diferencia de densidades y a su vez permite separar los materiales sólidos o líquidos de menor densidad que la del fluido que asciende a la superficie.

Por ende, en este proceso se forman pequeñas burbujas de gas, que se relacionarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y quitadas del sistema. Se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación: Flotación por aire disuelto (DAF) y Flotación por aire inducido. En el tratamiento de aguas residuales se usa el aire como representante de flotación, y en funcionalidad de cómo se introduzca en el líquido, se tienen dos sistemas de flotación:

- **Flotación por Aire Disuelto (DAF):**

Es decir, en este proceso el aire se introduce en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas. Los elementos principales para el funcionamiento de este proceso los equipos a utilizar son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturado y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire. (Cyclus, s.f.)

- ❖ **Flotación por Aire Inducido:**

Es similar al sistema de flotación por aire disuelto con respecto a su operación, pero por otro lado la generación de burbujas se realiza a través de difusores de aire, que normalmente están colocados en la parte inferior del equipo de flotación, o más bien están inducidas por rotores o agitadores. La diferencia para este caso es el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior.

Coagulación – Flocculación

El proceso de coagulación-floculación se basa en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia

coloidal no sedimentable de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos. (Bermudez, s.f). A su vez se forman las suspensiones coloidales si hay presencia de partículas de tamaño muy reducido, de gran estabilidad debido a las interacciones eléctricas entre las mismas, con una lenta velocidad de sedimentación. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables. Sin embargo, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico.

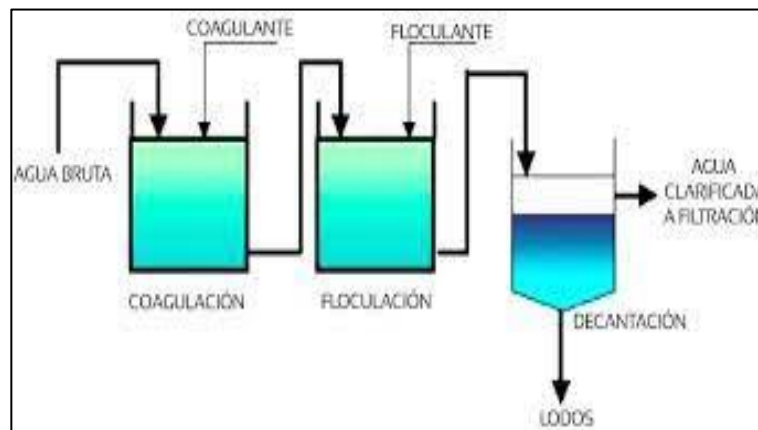


Figura 8 : *Proceso de Coagulación--Floculación*

Fuente: *Gestión de agua y Saneamiento Sostenible (2020)*

Así, para mejorar su eliminación, se agregan reactivos químicos que desestabilizan la suspensión coloidal (coagulación) y a su vez favorecen la floculación para obtener partículas fácilmente sedimentables. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide.

Una manera de perfeccionar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y por lo tanto favorecen la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Los coagulantes son productos químicos que en conclusión aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Normalmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) más los polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo principalmente también debe ser favorecer la floculación:

Sales de Fe³⁺: Suelen ser Cl₃Fe (cloruro de hierro) o Fe₂(SO₄)₃ (sulfato de hierro), con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. Cabe destacar, que la utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.

Sales de Al³⁺: Suele ser Al₂(SO₄)₃ o policloruro de aluminio. En primer lugar, es más manejable en disolución, mientras que por otro lado el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.

Polielectrolitos: Los polielectrolitos tienen la posibilidad de ser: polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas).

FILTRACIÓN

La filtración es una operación en la que se traspasa el agua a través de un medio poroso, con el propósito principal de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable. (s.f, 2016)

2.1.6.3 Tratamiento Secundario

Constituye una serie de procesos de naturaleza biológica que tienen en común la utilización de microorganismos (las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta. (S.f, Acuatecnica, 2019). En la mayor parte de los casos, la materia orgánica es oxidada por los microorganismos que la usan como fuente de energía para su crecimiento. Por consiguiente, los procesos aerobios se basan en la eliminación de los contaminantes orgánicos por su transformación en biomasa bacteriana, pero con la ayuda de oxígeno (que actuará como aceptor de electrones en el proceso de oxidación), CO₂ y H₂O.

El tratamiento secundario, también denominado tratamiento biológico, se realiza mediante la acción de microorganismos que consumen la materia orgánica y la transforman en nuevas células biodegradables o fáciles de retirar. Las nuevas células forman flóculos más pesados que deben separarse del agua con el fin de completar el tratamiento. (Nuevo, 2018).

Este proceso consiste en separar las impurezas que contienen menor tamaño a las que se puede captar, por otro lado, eliminan mediante un proceso de decantación normal.

Digestión: En este proceso el agua residual pasa a un reactor digestor-aeróbico, en otras palabras, donde se encuentran los microorganismos responsables en sí de oxidar la materia orgánica disuelta, pero para ello emplea un flujo de oxígeno.



Figura 9: Digestión de los Lodos

Fuente: Gestión de agua y Saneamiento Sostenible (2017)

- ❖ **Decantación:** Se refiere a la separación de los lodos formados se produce en los sedimentadores secundarios por gravedad.

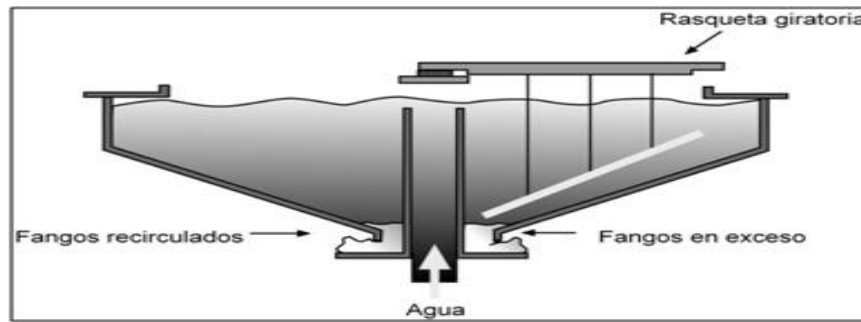


Figura 10: Proceso de Decantación

Fuente: Gestión de agua y Saneamiento Sostenible (2017)

- **ALGUNOS MÉTODOS DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES:**

Lodos Activados: Es un proceso de tratamiento aguas residuales que se apoya en la implementación de microorganismos (en especial las bacterias heterótrofas facultativas), del mismo modo que crecen en el agua residual, transformando la materia orgánica disuelta en nuevas bacterias.

Lechos Bacterianos: Se trata de unos soportes donde se encuentran los microorganismos y el agua residual se va echando en pocas cantidades para mantener las condiciones aeróbicas. (Astillero, 2018)

Filtros Verdes: Se basan en el empleo de un caudal controlado de agua residual sobre la superficie del terreno, es decir donde antes se ha instalado una masa forestal.

Digestión Anaeróbica: Es un proceso biológico en la cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y por medio de la acción de un conjunto de bacterias específicas, se descompone en productos gaseoso o “biogás” (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S).

2.1.6.4 Tratamiento Terciario

Con el objetivo de eliminar la carga orgánica residual y a su vez otras sustancias contaminantes que no hayan sido eliminadas en el tratamiento secundario, por ejemplo: los nutrientes, fósforo y nitrógeno. En función de la calidad del efluente obtenido, del destino final del mismo y a su vez de la legislación vinculada en cada caso, se aplica un tratamiento terciario al mismo, con el objetivo principal de eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no han sido eliminadas en los tratamientos secundarios, como, por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno.



Figura 11 .Tratamiento Terciario

Fuente: Iagua (2013)

Este tratamiento es un proceso físico-químico donde utiliza la precipitación, filtración, la cloración con el fin de disminuir los niveles de nutrientes inorgánicos, en especial los fosfatos y nitratos del efluente final.

Intercambio Iónico: Es una operación en la que usa resinas de intercambio iónico, este material es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, a su vez los conserva temporalmente unidos a la superficie y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

Adsorción: Define la propiedad de ciertos materiales (adsorbentes) de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida en la que se encuentran. El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie del mismo. Se utiliza para

eliminar fenoles, hidrocarburos aromáticos nitrados, derivados clorados, etc., así como para eliminar olor, color y sabor. El adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo.

Microfiltración y Ultrafiltración: El principio de la micro y ultrafiltración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente.

- **Microfiltración:** las membranas usadas para la microfiltración tienen un tamaño de poro de 0.1 y 10 μm . La microfiltración puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de agua cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a 0.1 mm.

- **Ultrafiltración:** Permite retener moléculas cuyo tamaño oscila entre 0.001 y 0.1 μm .

Ósmosis Inversa: Consiste en aplicarle a la disolución concentrada una presión superior a la osmótica, produciéndose el paso de disolvente (agua) desde la disolución más concentrada a la más diluida hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Usando esta técnica, se elimina la mayor parte del contenido en sales del agua. (Belzona, s.f)

Intercambios Iónicos: Describe un proceso químico específico en el que los iones disueltos no deseados en el agua y los efluentes – como nitrato, flúor, sulfato y arsénico – se intercambian por otros iones con una carga similar. Los iones son átomos o moléculas que contienen un número total de electrones que no son iguales al número total de protones. (Fluence, 2021)

Hay dos grupos diferentes de iones:

- Cationes cargados positivamente
- Aniones cargados negativamente

2.1.7 Sistemas Alternos de Tratamiento de Aguas Residuales

Este proceso consiste básicamente en la depuración de aguas residuales, pero hasta estos últimos momentos este sistema es llamado lodos activados. Por ende, este proceso tiene múltiples variantes, lo cual consiste en el cultivo y desarrollo de una gran masa de bacterias, que es la que consume el material orgánico, formando su masa celular, cambiándolo en tejidos y de esta forma el material orgánico de una forma desagradable.

De igual forma el proceso de lodos activados tiene amplias ventajas, pero a su vez también presenta algunos inconvenientes. Sin embargo, se puede decir que este medio de estabilización de material orgánico es: versátil, eficiente y además es utilizado en el medio de depuración de aguas residuales.

Algunas de sus desventajas son:

- Su alto costo de inversión y operación
- Medio microbiano que se halla en el digestor de lodos está en contacto directo con el agua, esto quiere decir que la presencia momentánea presenta condiciones desfavorables como: variaciones del valor pH y la presencia de sustancias tóxicas en el agua.

2.1.7.1 Medio Plástico de Empaque

Un gran número de medios de empaques de fabricación especial, son cada vez mayor utilizados porque tienen una gran superficie de soporte para la película microbiana, también para otros tipos de operaciones en las cuales tiene contacto entre gases y líquidos, por ejemplo: el enfriamiento evaporativo del agua. Por otro lado, los medios sintéticos tienen grandes espacios de huecos, mayores del 90%, con extensos espacios intersticiales en el empaque. Gracias a su ligereza en el peso, este te permite utilizar lechos lo suficiente profundos, dónde

las capas inferiores del empaque son capaces de resistir el peso de la biomasa adherida al empaque con una profundidad del lecho de 7 a 10 más.

2.1.8 Reactor de Mezcla Completa

El reactor de mezcla completa consiste en un tanque, el cual, viene con un mecanismo de agitación que garantiza una óptima mezcla completa, es decir que esta mezcla sea uniforme en todas sus propiedades. A su vez este reactor debe mantenerse agitado para su funcionamiento. Este tipo de reactor trabaja de manera continua, es decir, que siempre se mantiene constante el flujo de entrada de reactivos y salida de productos (estado estacionario). Como principal suposición para el estudio de este reactor, se tiene que la masa de entrada es perfecta, de modo que esta se mezcle instantáneamente y de forma homogénea con la masa que se encuentra dentro del reactor. De esta manera, se produce una corriente de salida con una concentración igual a la concentración de la masa del reactivo dentro del tanque.

Cabe destacar, que los reactores de mezcla completa (CSTR) tienen una conversión de producto directamente proporcional al volumen del tanque, al tiempo espacial y a la velocidad de reacción que se experimenta dentro del tanque, así como, al flujo y la concentración del reactivo. Todas estas variables se encuentran relacionadas en la ecuación de diseño del reactor de mezcla completa (CSTR). (Noguera, 2020)

2.1.9 Agitación Dentro del Reactor de Mezcla Completa

La agitación es lo principal para su correcto funcionamiento, concentración. Además de una temperatura uniforme dentro del tanque para impedir la formación de zonas muertas en el interior del reactor. Cabe destacar que su objetivo es producir una mezcla eficiente dentro del tanque, y a su vez garantizar que todo el volumen ocupado por la mezcla del reactor se emplee para llevar a cabo la reacción química necesaria.



Figura 12 :Reactores de Mezcla Completa en Serie

Fuente: Interempresas(2020)

2.1.10 Variables Utilizadas para el Diseño de Reactores de Mezcla Completa

Tiempo Espacial

El tiempo es importante para llevar a cabo un volumen de alimentación igual al volumen del reactor. Su símbolo es " τ "

Caudal Molar de Alimentación

Al hablar del caudal molar de alimentación se refiere a la cantidad que se introduce al reactor. Se expresa en unidades de moles/tiempo. Su expresión sería

$$F_{A0} = \left[\frac{\text{moles de A}}{\text{tiempo}} \right]$$

Caudal Volumétrico

Es el volumen que ingresa al reactor en un tiempo determinado. Su expresión es

$$Q = \left[\frac{L^3}{\text{tiempo}} \right]$$

2.1.11 Sistemas con Reactores Aeróbicos para Tratar Aguas Residuales

Los tratamientos biológicos de aguas residuales utilizan la capacidad denominada microorganismos entre los que se distinguen las bacterias, a la materia orgánica y nutrientes disueltos en el agua residual a tratar para su propio crecimiento, eliminando del agua los componentes solubles. La materia orgánica soluble es asimilada por los microorganismos que son la fuente de carbono. Después de esta operación, la biomasa generada se separa por decantación. Para el crecimiento de los microorganismos, además de materia orgánica, es necesario la presencia de nitrógeno y fósforo en el efluente. Si su concentración no es suficiente, deben tratarse. Si su concentración no es suficiente, deben tratarse.

La aplicación tradicional consiste en la remoción de materia orgánica biodegradable y coloidal, así como la remoción de compuestos que contienen fósforo. Es uno de los tratamientos más habituales, no solo el caso de aguas residuales urbanas, sino en parte del agua industrial, por su sencillez de bajo coste operativo económico. Los microorganismos pueden asemejarse la materia orgánica utilizando oxígeno, o bien en completa distancia de éste, lo que nos lleva a ubicar a 2 sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales:

- Sistemas Aeróbicos
- Sistemas Anaeróbicos

2.1.12 Sistemas de Tratamiento con Lagunas

Para el tratamiento de aguas residuales se maneja un sistema de lagunas consisten en excavaciones realizadas en un terreno. La profundidad de estas es cambiante, pueden ser superficiales o bastante profundas. La técnica de tratamiento de aguas residuales con lagunas se manipula principalmente en comunidades pequeñas; sin embargo, las lagunas aireadas se usan comúnmente en comunidades medianas.

Estos sistemas de aguas residuales consiguen funcionar en forma autónoma o en combinación con otros sistemas de tratamientos de aguas residuales.

Las cualidades de un sistema con lagunas son:

- Resultan bajos los costos de capital
- Se necesita una formación mínima del personal encargado de su operación
- Es factible con el sistema de tratamiento hídricos o sobre el suelo

Las decadencias de un sistema con lagunas son:

- Se necesita grandes longitudes de terreno
- Se da una concentración elevada de algas en el efluente que puede ocasionar problemas en fuentes receptoras ligeras
- Debido a la falta de impermeabilización o si se llega a dañar el recubrimiento pueden causar impactos negativos sobre las aguas subterráneas.
- Pueden generar malos olores debido a un mal diseño o una incorrecta operación

2.1.12.1 Lagunas Aireadas (Aerobias)

Estos tipos de lagunas son pocas profundas ya que deben a la implantación de la luz solar en cualquier columna de agua que desarrolla una fuerte población de algas en la superficie a través de la fotosíntesis, proporciona oxígeno al agua. Las algas producen el oxígeno la cual concede a las bacterias degradar en forma aerobia los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. En las horas de luz solar, el oxígeno y el pH se intensifican obteniendo valores máximos, mientras tanto en los períodos de oscuridad éstos medidas reducen en forma enorme, respecto al valor máximo. También se puede emplear difusores o aireadores superficiales para proporcionar oxígeno al proceso; éste es tomado por las bacterias aerobias para oxidar la materia orgánica. En esta tarea se consigue una gran productividad de lodo biológico, la necesidad del mantenimiento diario y de energía eléctrica para la aireación del sistema.

2.1.12.2 Lagunas Anaerobias

Este tipo de lagunas Anaeróbicas se proyectan para el tratamiento de despojos líquidos con alto contenido de materia orgánica, habitualmente aguas residuales de industrias ubicadas en zonas rurales apartadas. Estas lagunas no cuentan con zonas aerobias, su tiempo de retención va de 25 a 50 días, debido a esto generan malos olores y requieren ser cubiertas o aisladas de las zonas pobladas.

2.1.13 Clasificación de los Reactores Aeróbicos

Biomasa en Suspensión (Lodos Activados)

La biomasa crece libre o en suspensión en el interior del biorreactor, formándose los flóculos.

Reactores Secuenciales (SBR):

Este tipo de reactor opera solo en discontinuo, con la diferencia de que todos los procesos se realizan en un solo tanque de forma secuencial.

Reactores de Biomembrana:

Este reactor combina el tratamiento biológico del agua por fangos activos, pero con la diferencia de que dispone de un módulo de membranas de ultrafiltración en su interior. Además, permite la separación sólida y líquido mediante una membrana física. Es una excelente alternativa para los casos en los se tiene de poco espacio.

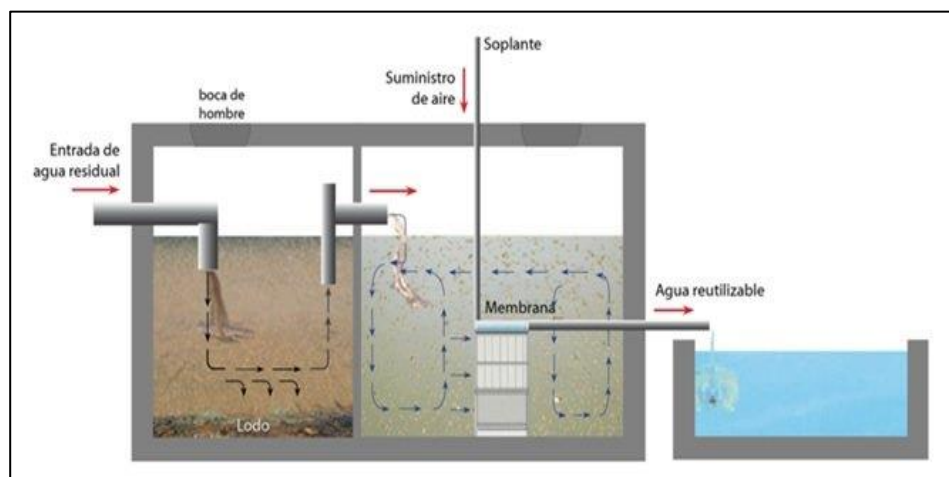


Figura 13:Proceso de reactores de Biomenbrana

Fuente: Bioazul(2021)

Biomasa Fija

La biomasa crece adherida a un soporte que puede ser de dos formas: natural o artificial, produciendo una película.

❖ Biodiscos

Se refiere a un conjunto de discos, sobre este soporte se desarrolla una película de biomasa adherida. Cuando la superficie del disco se encuentra en contacto con el aire, la biomasa adherida toma el oxígeno requerido para producir la degradación de la materia orgánica que se encuentra presente en el agua residual durante el período de inmersión.

❖ Biofiltros

Son también conocidos como filtros biológicos, el aire es aspirado cerca del foco de anuncio, seguido es guiado a una cámara de acondicionamiento. En primer lugar, es saturado de humedad, posterior es guiado al lecho de biomasa fijada. Además, las sustancias contaminantes que se producen se absorben a la biopelícula de biomasa formada sobre el relleno.

❖ Filtros Percoladores

Para el tratamiento de aguas residuales, en los filtros percoladores los microorganismos crecen sobre la extensión de un soporte en forma de película, el agua residual se incorpora desde la superficie y gotea mientras el aire se filtra a través del medio del que se rodea, proporcionando con ello el oxígeno requerido para el tratamiento. El agua manipulada es evacuada junto con una disposición considerable de biomasa, por lo cual debe ser transportada a un tanque de sedimentación donde los sólidos biológicos son separados. De igual manera, es necesario que se realice un tratamiento anticipado a la filtración biológica aeróbica para remover las grasas, aceites y sólidos suspendidos del agua residual a fin de impedir que el sistema se obstruya. Son una tecnología sencilla que se empleado en los últimos tiempos para mejorar la calidad de las aguas negras.

Consiste en un tanque de algún medio: de grava o de material plástico. Las aguas negras se distribuyen sobre el medio y fluyen hacia abajo a través de la superficie del medio en una

capa fina. Las aguas negras que ingresan al filtro percolador deben recibir un tratamiento igual de un tanque séptico.

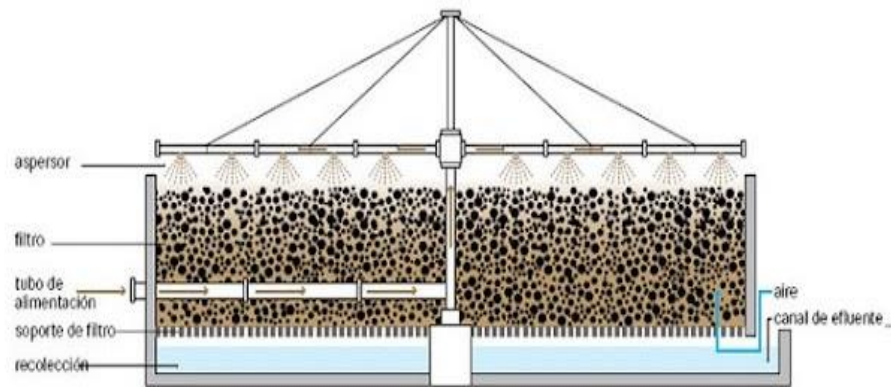


Figura 14 : Filtros Percolado

Fuente: Blog spot(2019)

2.1.14 Diseño de los Filtros Percoladores

- Cuando se seleccione el filtro percolador se debe considerar el área, volumen de la superficie de filtro, el tamaño de bomba para el óptimo funcionamiento de este.
- Pueden procesar entre 25 y 100 galones aguas negras por pie cuadrado por día
- La tasa de carga orgánica para estos filtros debe ser entre 0.005 y 0.025 libras de DBO por día por pie cubico de medio.

2.1.15 Filtros de Lecho Móvil

Es una tecnología está adquiriendo más importancia, es utilizada para el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Consta de un cultivo bacteriano encargado principalmente de la depuración, además, se encuentra en forma de biopelícula, pero incluido a soportes de alta superficie específica y estos soportes se encuentra en constante movimiento y suspendidos en el reactor biológico.

Antes, de elegir una biomasa fija o en suspensión esto sólo se puede hacer después de analizar las características que produce el efluente. Los MBBR permite aumentar la capacidad

de depuración sin necesidad de incrementar el volumen del reactor. Por otro lado, más bacterias añaden materia orgánica a su metabolismo con el fin de formar un nuevo tejido celular.

En primer lugar, para un buen funcionamiento del reactor se necesita disminuir la carga contaminante a través de un tratamiento primario el cual es la decantación. Sin embargo, el proceso de decantación es necesario después del reactor biológico para separar los posibles flóculos que escapen del reactor, logrando un efluente clarificado.

2.1.15.1 Funcionamiento MBBR

- Primero el agua ya pretratada se agrega al reactor biológico de lecho móvil.
- Se mantiene el cultivo bacteriano adherido a los soportes que se encuentran sumergidos en el reactor.
- Este proceso biológico necesita de una cantidad específica de materia orgánica, ya que el exceso de estas puede destruirlo o por el contrario las cantidades pequeñas de nutrientes no pueden ser lo suficiente para el proceso.
- Otro factor importante es el sistema de aireación, además de oxigenar permite el paso del fluido en forma vertical en un lecho de partículas sólidas, que es donde crecen las bacterias.
- En este equipo eficiente se produce la separación sólido-líquido. Esto quiere decir que los posibles flóculos que se hayan separado de la biopelícula, estos se sedimentan por la gravedad y se depositan en la parte inferior del decantador.
- Estos flóculos que se sedimentan son los llamados fango biológico que son extraídos del sistema.

2.1.15.2 Ventajas MBBR

- Los MBBR requieren de menor volumen del reactor biológico gracias a la alta concentración de biomasa.
- La suspensión de la biomasa sobre el soporte evita que se disperse del reactor.
- No necesita recirculación

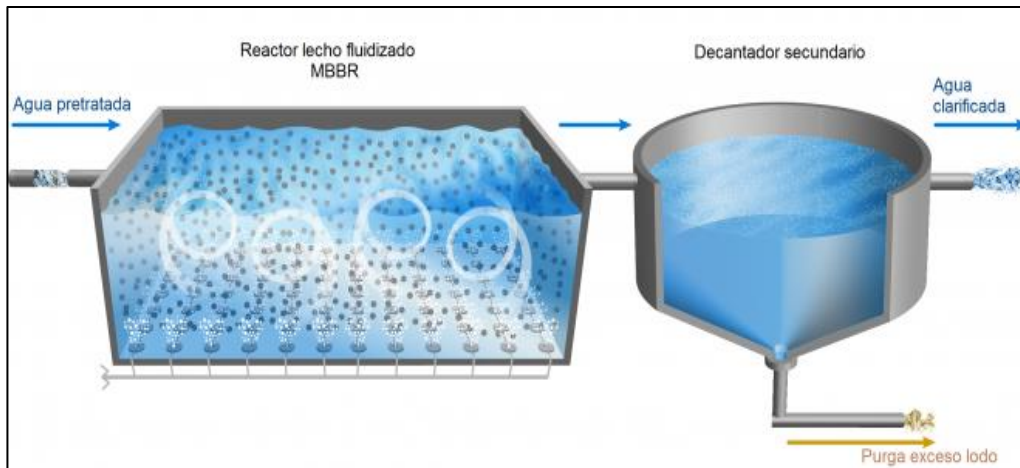


Figura 15: Esquema Funcional Biorreactor MBBR+Decantador Secundario
Fuente: Gestión de Aguas y Residuos (S.f)

2.1.15.3 Carriers MBBR

En plantas de tratamiento de lodos activados generalmente el conjunto de biomasa se encuentra en la parte superior de las aguas residuales, la misma que se procede a separar del agua tratada mediante el uso de un decantador. Por lo regular cierta cantidad de biomasa es recirculada hacia los tanques biológicos y la cantidad restante es extraída para posteriormente ser enviada al tratamiento de lodos.

Este proceso a través del tiempo se ha convertido en una de las técnicas más empleadas en el tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales a nivel mundial. Sin embargo, posee algunas desventajas, ya que para llevar a cabo este proceso es necesario emplear el uso de grandes tanques, generando de esta manera que su eficiencia al momento de eliminar contaminantes propios del agua residual disminuya y se vea afectada de gran manera por la capacidad del mismo al momento de sedimentar lodos.

En reactores de biopelícula de lecho móvil MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) generalmente la biomasa crece como biopelícula, es decir, una capa de microorganismos se adhiere en la superficie de soportes plásticos que se encuentran en libre movimiento hacia las aguas residuales. El crecimiento de la biomasa se da en forma especializada en cada tanque.

La biopelícula posee una actividad específica alta, generando de esta manera mayor posibilidades de alcanzar eficiencias altas de eliminación de contaminantes empleando tanques de menor tamaño que los requeridos por lodos activados.

Aquí los tanques tienen gran similitud a los reactores de lodos activados, además con el objetivo de evitar pérdida alguna de los transportistas poseen tamices que impiden su paso.





El uso de esta tecnología es bastante manejable en plantas de tratamiento y se clasifican en:

- Reactores de biopelícula pura.
- Reactores híbridos.

Reactores de Biopelícula Pura: En estos reactores el crecimiento de biomasa se da solamente en soportes sin la presencia de lodos en suspensión y sin recirculación de los mismos, aquí el grado de llenado puede variar de acuerdo a los requisitos del proceso.

Reactores Híbridos: En este tipo de reactor el crecimiento de biomasa se da en el mismo tanque ya sea como biopelícula en soportes o como lodos en suspensión, aquí sí existe recirculación de cierta cantidad de lodos, la cual puede variar de acuerdo al proceso. Una de las ventajas de los reactores MBBR es que poseen un riesgo de obstrucción menor que en los reactores de biopelícula fijos, por lo cual no es necesario realizar lavados a contracorriente debido a que el exceso de biopelícula se separa de los portadores gracias a la turbulencia del reactor, dando como resultado que el agua tratada pueda separarse ya sea por flotación o sedimentación.

Tabla 4: Tipos de MBBR

Parámetro	AnoxKaldnes Tipo K1	AnoxKaldnes Tipo K3	Natix Tipo O	Natrix Tipo F3
Forma				
Largo (mm)	7	12	50	37
Diámetro (mm)	10	25	60	46

Grado de llenado máximo		70%	70%	60%	60%
Superficie eficaz	específica	500	500	300	200
		(m^2/m^3)			

Fuente: AnoxKaldnesTM Company (S.f)

En reactores MBBR se emplean diversos tipos de soportes, los cuales se clasifican de acuerdo al material, forma, porosidad, dimensiones y la superficie específica. La superficie específica es una característica importante en los soportes ya que nos indica el tamaño de la superficie que se encuentra a disposición para el crecimiento de biopelículas. En los soportes existe una superficie específica protegida y otra externa, el crecimiento de biopelículas se da generalmente en la superficie protegida debido a que la externa tiene una mayor disposición ante posibles choques entre portadores y contra los alrededores del reactor.

El inicio de crecimiento de biopelícula en los portadores se puede notar luego de algunas semanas debido a la presencia de espuma en pequeñas cantidades, esto se produce ya que las bacterias producen sustancias tensoactivas que interfieren en la superficie de contacto entre dos fases.

La cantidad de portadores que se pueden introducir en reactores MBBR varía según el caso, de acuerdo a esto sabemos que el grado de llenado tiene una relación directa entre el volumen aparente de los portadores y el volumen del tanque, el cual puede cambiar desde valores mínimos hasta grandes valores de acuerdo a las características que posee. Si el grado de llenado es mayor, entonces, aumenta la eficiencia de eliminación de contaminantes y la superficie total de la biopartícula, no obstante, para esto es necesario implementar más energía al proceso.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Aguas Servidas

Las aguas residuales, también llamadas aguas servidas, son cualquier tipo de agua cuya disposición se haya visto afectada de manera negativa después del uso doméstico o industrial. De tal forma se incluyen otros residuos eliminados, que por razones de sanidad no pueden verterse directamente a los afluentes o cuerpos de agua dulce o marina sin el debido tratamiento. ``Las aguas servidas contienen sólidos en suspensión orgánicos e inorgánicos, los inorgánicos como la arcilla, sedimentos principalmente formados por nitrógeno, fosforo, cloruros carbonatos, sulfatos y otros residuos`` (Sandoval, 2019). El correcto tratamiento de las aguas servidas elimina lo patógenos y evita que lleguen a los cuerpos de agua dulce o a otras fuentes de abastecimiento. En la actualidad los diferentes tipos de procesos de tratamiento de estas aguas no significan un gran gasto, pues en la evolución de estos sistemas se han simplificado los procesos, así como los sistemas de control, y en casos particulares se puede recuperar.

2.2.2 Componentes de las Aguas Servidas

Físicos: Entre los componentes físicos esta: el olor, color, sólidos y temperatura.

Químicos: Los componentes químicos orgánicos de las aguas residuales esta: carbohidratos, aceites, compuestos orgánicos volátiles, etc. En los inorgánicos se tiene: cloruros, metales pesados, PH, contaminantes prioritarios, etc.

Biológicos: Los componentes biológicos de las aguas residuales se tiene a los animales y plantas. (Rodriguez C. , 2021)

2.2.3 Contaminantes Importantes de las Aguas Residuales

- **Sólidos en Suspensión:** Los sólidos en suspensión pueden dar paso al desarrollo de depósito de fango y de condiciones anaeróbicas cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.

- **Materia Orgánica Biodegradable:** Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas, animales, la materia orgánica biodegradable se mide en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
- **Patógenos:** Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
- **Nutrientes:** Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
- **Contaminantes Prioritarios:** Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad mutagenicidad, o toxicidad aguda conocida o sospechosa, Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
- **Materia Orgánica Refractaria:** Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas.
- **Metales Pesados:** Los metales pesados son frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
- **Sólidos Inorgánicos Disueltos:** Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual. (S.F., Cidta, 2021)

2.2.4 Tipos de Aguas Residuales

Aguas Residuales Domésticas

Son aquellas aguas provenientes de las viviendas producidas por el metabolismo humano y de las actividades domésticas. La contaminación principal de estas aguas es por la materia orgánica, tanto en suspensión como disolución, y por las cantidades de nitrógeno, fósforo y sales minerales.

Aguas Residuales Industriales

Son aquellas aguas que proviene de las aguas vertidas desde locales para efectuar cualquier actividad comercial o industrial. Debido a la gran cantidad de efluentes que contienen estas aguas, por ende, tiene un mayor grado de contaminación que las aguas residuales urbanas.

Aguas Residuales Urbanas

Son aquellas aguas que tiene aguas residuales domésticas e industriales, además incluyen las aguas de corriente pluvial. (Zarza, 2017)

2.2.5 Impacto Ambiental de las Aguas Servidas

En los últimos periodos el mundo ha venido mostrando inquietud y está tratando de resolver los problemas relacionados con la disposición de los efluentes líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento. A partir de ello la primera prioridad que demanda una comunidad es el suministro del agua, con calidad adecuada y cantidad suficiente y adecuada eliminación de las aguas ya utilizadas.

La falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales en las ciudades y en las industrias, hoteles y explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, ocasiona grandes desechos de aguas contaminadas que hacen mucho daño al medio ambiente. La mayoría de esas aguas es descargada en los ríos, lagos, mares, en los suelos a cielo abierto o en el subsuelo, a través de los llamados pozos sépticos y rellenos sanitarios. (Rodriguez H. , 2017)

La primera prioridad que demanda una comunidad es el suministro del agua, con calidad adecuada y cantidad suficiente. Ya logrado este objetivo, surge otro no menos

importante que consiste en la adecuada eliminación de las aguas ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de muchas enfermedades y trastorno del medioambiente.

2.2.6 Bacterias en las Aguas Residuales

La presencia de organismos patógenos, provenientes en su mayoría del tracto intestinal, hace que estas aguas sean consideradas como extremadamente peligrosas, sobre todo al ser descargadas en la superficie de la tierra, subsuelo o en cuerpos de agua (Ríos-Tobó, 2017). De tal manera si contamos con la presencia de bacterias del grupo entérico que producen enfermedades de origen hídrico como: fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería, cólera, entre otras. Entre las principales enfermedades causadas por virus presentes en las aguas residuales están: poliomielitis, hepatitis infecciosa, entre otras, y la presencia de microorganismos producen enfermedades como disentería amebiana, filariasis, entre otras. También suelen ser metales pesados como el plomo y el mercurio que son sustancias tóxicas. Debido a el cobre y el hierro que pueden alterar el olor, sabor y color del agua y el fósforo que disminuye la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

2.2.7 Efecto Mundial

El problema es que con el tiempo la contaminación de las aguas, se ha ido extendiendo sobre todo a los países desarrollados. Sin embargo, se manifiesta con mayor intensidad en los países industrializados y con una explotación intensiva de la agricultura.

Más de 1000 millones de toneladas de aguas residuales son vertidas anualmente al agua subterránea, a ríos, lagos y océanos del mundo, contaminándolos con metales pesados, disolventes, aceites, grasas, detergentes, ácidos, sustancias radioactivas, fertilizantes, pesticidas y otros productos químicos. Esta contaminación química del medioambiente se ha convertido en uno de los problemas globales más urgentes de la humanidad. (JERSON, 2020)

Aunque también cabe mencionar que en estos lugares se han realizado importantes mejoras en el tratamiento de las aguas residuales, debido a la capacidad de solucionar problemas que tiene el ser humano. Al mismo tiempo somos capaces de cambiar

completamente un hábitad o un sistema con el fin de satisfacer nuestras necesidades. También podemos darle la solución debida, y esta es una tarea que concierne al mundo entero, pues hemos sido nosotros mismos los que provocamos este impacto ambiental.

2.3 Marco legal

2.3.1 Ley de la Constitución del Ecuador

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. (ECUADOR, 2017)

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

- Ítem N. ° 4 Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

Art. 282.- El Estado regulará el uso y manejo del agua de riego para la producción de alimentos, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental (ECUADOR, 2017)

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias. (ECUADOR, 2017).

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios. El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se

requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (ECUADOR, 2017)

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico (ECUADOR, 2017)

Capítulo II

De La Prevención y Control de la Contaminación De Las Aguas

Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades. (Ecuatoriana S. I., 2014)

Art. 7.- El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en coordinación con los Ministerios de Salud y del Ambiente, según el caso, elaborarán los proyectos de normas técnicas y de las regulaciones para autorizar las descargas de líquidos residuales, de acuerdo con la calidad de agua que deba tener el cuerpo receptor.

Art. 8.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, fijarán el grado de tratamiento que deban tener los residuos líquidos a descargar en el cuerpo receptor, cualquiera sea su origen.

Art. 9.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, también, están facultados para supervisar la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, así como de su operación y mantenimiento, con el propósito de lograr los objetivos de esta Ley. (Ecuatoriana N. T., 2014)

Sección II

OBJETIVOS DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Art. 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua. :

La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

c) Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas;

d) Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración;

e) Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida.

Artículo 80.- Vertidos: prohibiciones y control.

Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto

de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental. Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

Artículo 81.- Autorización administrativa de vertidos.

La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de su competencia y dentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional. (Barrezueta, 2015)

Tabla 5: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust.solubles en hexano	mg/l	70
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsenico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr^{+6}	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)		mg/l	250,0
	DBO_5		
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloro etileno	Dicloro etileno	mg/l	1,0
Fósforo total	P	mg/l	15,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0
Totales de			
Petróleo			
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ní	mg/l	2,0
Nitrógeno Total	Ní	mg/l	60,0
Kjedahl			
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de	pH		6-9
hidrogeno			
Selenio	Se		0-5
Sólidos	SD	mg/l	20,0
Sedimentables			
Sólidos	SST	mg/l	220,0
Suspendidos			
Totales			
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO^{-2}_4	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		<40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de	Tetracloruro de	mg/l	1,0
carbono	carbono		
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Fuente: Texto Unificado Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2018)

Tabla 6: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust.solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	Ba	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo	mg/l	0,1
	ECC		
Cloruros	CL	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	N MP/100 ml	2000,0
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DQO	mg/l	200,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0
totales de Petróleo			
Manganeso Total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno total	N	mg/l	50,0
Kjedahl			
Compuestos	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Organoclorados			
Compuestos	Organofosforados	mg/l	0,1
Organofosforados	totales		
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	PH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos	SST	mg/l	130,0
Totales			
Sólidos totales	ST	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO_4^{-2}	mg/l	1000,0
Sulfuros	S^{-2}	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural±3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: Texto Unificado Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2018)

Tabla 7: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Marina

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) DESCAEGAS EN ZONA DE ROMPIENTES	(B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS
Aceites y Grasas	Sust.solubles en hexano	mg/l	30	30
Arsénico total	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5	5
Cianuro total	CN-	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1	1
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	*Inapreciable en dilución: 1/20	*Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	200	400
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	400	600
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20	20

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) DESCAEGAS EN ZONA DE ROMPIENTES	(B) DESCARGAS MEDIANTE EMISARIOS SUBMARINOS
Materia flotante	Visibles		Ausencia	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	40	40
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	250	250
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	$\mu\text{g}/\text{l}$	50	50
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	$\mu\text{g}/\text{l}$	100	100
Carbamatos	Especies totales	mg/l	0,25	0,25
Temperatura	°C		<35	<35
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5

Fuente: Texto Unificado Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (2018)

CAPITULO III

3 Metodología De Investigación

3.1 Metodología

El proyecto de investigación actual se enfoca en la “Evaluación de la remoción de la carga orgánica en un reactor aeróbico secuencial discontinuo usando un medio de soporte plástico para el tratamiento de aguas residuales domésticas” corresponde a un proyecto científico experimental que se realizó en el sector de la Prosperina Coop 2137 Mz G1 solar 11, al norte de la ciudad de Guayaquil.

Se realizaron varios ensayos con la ayuda del laboratorio INGEESTUDIOS, laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE) con el fin de determinar el progreso del proyecto experimental mediante la implementación de soportes plásticos agregados al agua residual doméstico en el reactor aeróbico secuencial discontinuo.

3.2 Aspectos Metodológicos

El presente proyecto de investigación experimental está enfocado fundamentalmente en la parte práctica. De tal forma, se creó el medio más óptimo para el desarrollo de las bacterias en el que se usa un solo proceso de llenado-agitación-aireación-sedimentación-vaciado en un mismo reactor. Por lo que, se emplean las pruebas experimentales obteniendo así distintos resultados en los análisis.

3.3 Tipo de Investigación

3.3.1 Investigación Experimental

El proyecto planteado usó el método experimental en el laboratorio, realizando varias pruebas, en un mismo reactor se realizó la aireación del agua, además de sedimentación y agitación de la muestra empleadas en el reactor lo que llevó a conseguir datos experimentales que fueron de gran ayuda para el mejor desarrollo del reactor.

3.4 Enfoque de la Investigación

3.4.1 Enfoque Cuantitativo

En los últimos años se ha buscado nuevos y mejores diseños de tratamiento de aguas residuales que permita reducir la concentración de materia orgánica en términos de DBO. Por ende, se consideró un tratamiento utilizando el agua residual proveniente de la planta de tratamiento de Laguna del Sol, vía a Samborondón. La planta piloto utilizada fue un reactor aeróbico secuencial discontinuo con un soporte generalmente de plástico en su interior, este tipo de reactor es versátil y de menor de costo para la remoción de carga orgánica

3.5 Técnicas de la Investigación

Las técnicas de investigación son procedimientos favorables en el cual el investigador selecciona un tema de estudio adecuado, se utilizaron datos e información para llevar a cabo dicha investigación. Las técnicas de investigación son las herramientas y procedimientos disponibles para un investigador cualquiera, que le permiten obtener datos e información. (Raffino, 2020). No obstante, este no garantiza que dicha interpretación o conclusión conseguida sean óptimas o las que se trata de buscar, la cual existe varios técnicos como, establecer las etapas de la investigación, reportar un registro de datos entre otros.

Entre las técnicas de investigación más utilizadas y de formas generales se encuentran:

- Investigación de campo.
- Investigación documental.

3.5.1 Investigación de Campo

La investigación de campo facilita solamente la observación directamente y recopilación de evidencia en el medio donde se presenta el fenómeno de estudio comprobar la teoría con la practica en la búsqueda de la verdad objetiva.

Material de apoyo:

- El cuestionario.
- La entrevista.
- La encuesta.

- La observación.
- La experimentación.

3.5.2 Investigación Documental

Este tipo de investigación de índole documental consiste en el análisis, la compilación de antecedentes, a través de documentos formales e informales, cualquiera sea estos, donde el investigador establece y perfecciona su investigación con lo participado por diferentes autores. Las fuentes de consulta suelen ser bibliográficas, memorias, informes y algunos otros medios.

3.6 Diseño y Fabricación del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo

3.6.1 Infraestructura del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo

Se encuentran en el mercado varios prototipos de reactores aeróbicos secuenciales discontinuos empleados para aguas residuales de uso residencial e industrial. En el presente proyecto, se optó por el tipo de reactor aeróbico secuencial discontinuo en la cual se ejecuta las 5 fases del proyecto en un solo reactor con la diferencia de que se agregó un medio filtrante compuesto de soporte plástico.

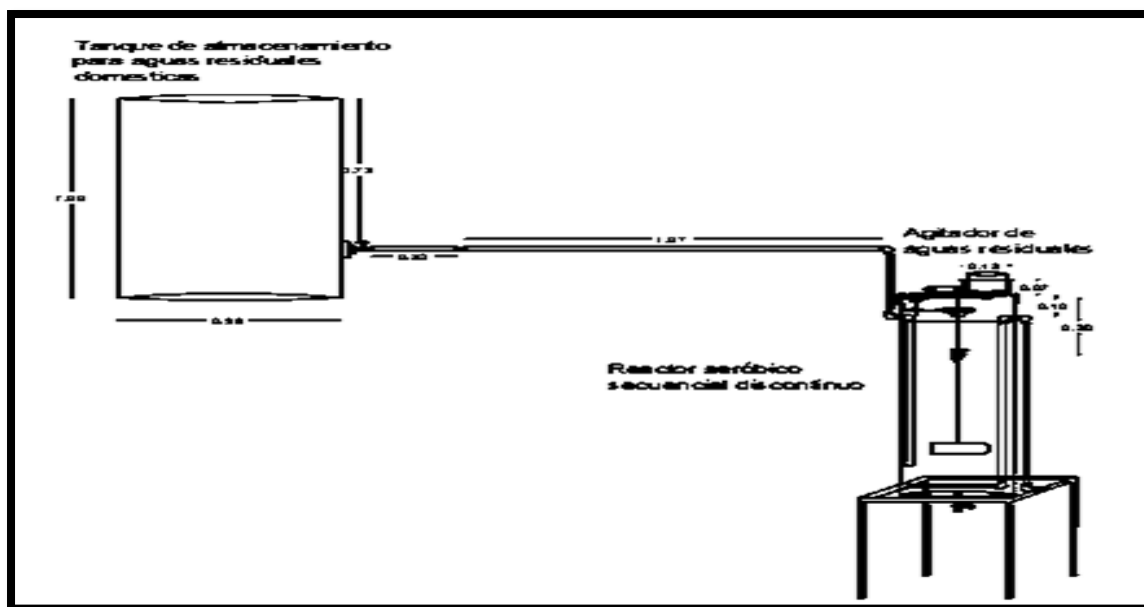


Ilustración 1: Bosquejo del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

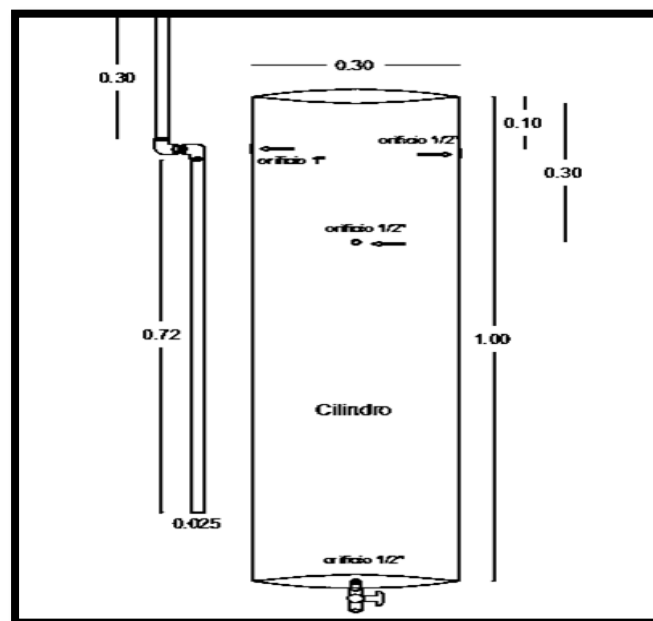


Ilustración 2: Cilindro de Acrílico con su Orificios y Medidas.

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

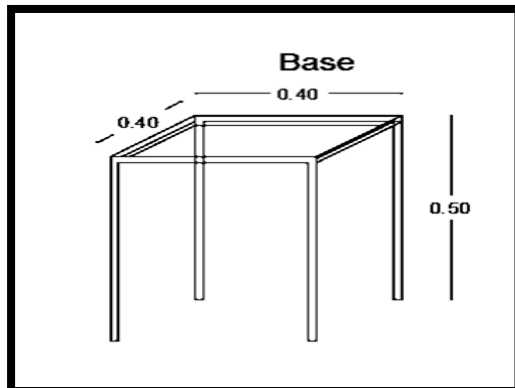


Ilustración 3: Soporte plástico

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.7 Materiales para la Construcción del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo.

3.7.1 Fabricación del cilindro
<ul style="list-style-type: none"> • Una plancha de acrílico de 3mm de espesor,
<ul style="list-style-type: none"> • Silicón
<ul style="list-style-type: none"> • Pegamento instantáneo mundial (súper dura).

3.7.2 Fabricación del soporte del reactor
<ul style="list-style-type: none"> • 3.60 metros de ángulo de 1½" por 3 mm
<ul style="list-style-type: none"> • 1.29 metros de platina de 1½" por 3 mm
<ul style="list-style-type: none"> • 5 palillos de soldadura agá 60-11
<ul style="list-style-type: none"> • 1 disco para cortar metal de 4" de diámetro
<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 litros de pintura anticorrosiva para fondo
<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 litros de pintura anticorrosiva para acabado

3.7.3 Gasfitería
<ul style="list-style-type: none"> • 2.63 metros de Tubería PVC de 1 pulgada
<ul style="list-style-type: none"> • 1.70 metros de Tubería PVC de media pulgada
<ul style="list-style-type: none"> • 1 conector de media pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 conector de 1 pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 2 codos de media pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 2 codos de 1 pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 nudo universal de 1 pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 llave de paso de 1 pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 llave de paso de media pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 neplo perdido de 1 pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 neplo perdido de media pulgada, PVC
<ul style="list-style-type: none"> • 1 unión de media pulgada, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 tapón de media pulgada hembra, PVC.
<ul style="list-style-type: none"> • 3 teflones
<ul style="list-style-type: none"> • 1 tubo de silicón transparente

3.7.4 Agitador
<ul style="list-style-type: none"> • 1 motor de lavadora
<ul style="list-style-type: none"> • 1 capacitor
<ul style="list-style-type: none"> • 1 interruptor doble vía 15 Amperio
<ul style="list-style-type: none"> • Platinas de 1 ½" por 3mm
<ul style="list-style-type: none"> • 2 banda # 17

<ul style="list-style-type: none"> • 3 palillos Soldadura agá 60-11
<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 litros de pintura anticorrosiva para fondo
<ul style="list-style-type: none"> • Capacitor de 40 – 4 D

3.8 Proceso de Construcción del Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo

La fabricación del reactor aeróbico secuencial discontinuo duró un periodo aproximadamente de 40 días, debido a ciertos detalles que se tomaron en cuenta para que el proceso de construcción sea óptimo. Para empezar, se estableció un lugar apropiado para ensamblar el proyecto de investigación experimental en la Prosperina Coop 2137 Mz G1 solar 11, sector norte de la ciudad de Guayaquil.

El motivo por el cual se efectuó en el sector norte de la ciudad de Guayaquil es que se encontró un ambiente adecuado para el desarrollo de un reactor aeróbico, y además por problemas de la pandemia del COVID 19 no se pudo ingresar al laboratorio de bloques de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, lugar que se dispone en la universidad para este tipo de investigaciones relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales.

En el desarrollo del reactor aeróbico secuencial discontinuo se emplea el agua residual doméstica, sin embargo, hay que tomar las debidas precauciones al momento de manipular este tipo de aguas residuales. En este caso, trabajar con un reactor aeróbico secuencial discontinuo es una excelente opción debido a que permite realizar estudios y análisis de la remoción de la materia orgánica en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

3.8.1 Implementación de Planta Piloto (Reactor Aeróbico Secuencial)

Inicialmente se construyó un soporte cuadrado de dimensiones 40 cm de lado por 50 cm de altura y una curvatura de 31 cm de diámetro con unas platinas que sirve de refuerzo con el objetivo de garantizar la inmovilidad del reactor y, a su vez permitir la resistencia al volumen de agua residual vertido en el cilindro de acrílico. (ver ilustración 4).



Ilustración 4: Soporte Cuadrado

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Consecutivamente se elaboró un recipiente en forma cilíndrica mediante una plancha de acrílico de 3 mm de grosor y con un soporte de 5 mm de grosor, para mayor seguridad en el fondo del recipiente con una dimensión de 30 cm de diámetro y 100 cm de altura, que sirva como tanque de reserva para el agua residual doméstica. Luego, se procedió a colocar el cilindro encima del soporte de acero, el cual está a una altura de 50cm de altura con respecto al suelo. Se instaló un tapón de media pulgada en el agujero ubicado en la parte inferior del cilindro, la cual sirvió para la expulsión de lodos producido por el propio tratamiento del agua por medio de las bacterias aeróbicas en el reactor una vez ejecutado el periodo de agitación, aireación y reposo.

Luego se realizó una perforación en la parte frontal del cilindro, de media pulgada de diámetro ubicado a 30cm de la parte superior para instalar una llave de plástico que sirve para extraer y tomar las muestras de las aguas residuales. Después, se realizó una perforación de media pulgada de diámetro ubicada a 10cm de la parte superior derecha para conectar la manguera del compresor. De ahí se realizó un orificio de 1 pulgada de diámetro ubicada en la parte superior izquierda utilizada para la conexión del cilindro al tanque elevado. (ver ilustración 5).



Ilustración 5: Cilindro Acrílico

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Se procedió a comprar un tanque de PVC de 1.25 m altura por 0.50 m de diámetro, el cual sirve de cisterna para el agua residual doméstica, además se procedió a elevarlo a 1,40 metros de altura con respecto al suelo utilizando soportes metálicos anclados a la pared sostenido con un puntal en la parte de en medio para así garantizar que resista el volumen de agua vaciado en el tanque (ver ilustración 6).



Ilustración 6: Tanque Reservorio

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

A continuación, se procedió a realizar un orificio de una pulgada mediante una perforadora de agujero con una broca estándar de carburo con el taladro para la evacuación del agua del tanque, acto seguido se empezó a adaptar un acople de una pulgada para seguir colocando los demás accesorios como: tubería, conectores, codos todo esto correctamente ensamblado con teflón. (ver ilustración 7)



Ilustración 7: Colocación de Accesorio que une al Tanque Reservorio

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Después de la implementación del acople en el agujero se colocó una llave de paso de PVC de una pulgada cuya función es mantener el control del paso del agua que va direccionado hacia el cilindro que forma parte del reactor (ver ilustración 8)



Ilustración 8: Llave de paso de 1 pulgada de PVC

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Para dar por acabado el traslado del agua residual hacia el cilindro de acrílico perteneciente al reactor, se colocó un codo de PVC de una pulgada con una unión y otro codo en la parte inferior del cilindro del reactor para mayor disposición en la entrada al orificio del reactor. (ver imagen 9)



Ilustración 9: Conexión de Codo PVC

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.8.2 Elaboración del Reactor Aeróbico Secuencial (motor)

Luego se enfocó en la parte mecánica y fundamental del reactor que es el motor mezclador, este debe ser de reducida potencia. De tal forma, se implementó un motor de un hp de potencia en el cual se realizaron ajustes para reducir la potencia y así conseguir las revoluciones correctas (ver ilustración 10). Se procedió a conseguir un motor de lavadora de limitada potencia de centrifugado también se le anexo un capacitor para poder determinar revoluciones por minutos (RPM) es decir, el número máximo de vueltas que puede dar el motor por minuto.



Ilustración 10: Motor de 1 hp de potencia

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Consecutivamente está formado por un sistema de poleas en este caso se implementaron cuatro poleas una de 2 pulgadas, dos de 3 pulgadas y otra de 4 pulgadas, las cuales trabajan de la misma manera mediante una sola banda esto permite que el recorrido sea más largo y por ende las revoluciones por minutos sean menores. Además, hay un orificio que se encuentra en el centro de la base inferior está conectada con una varilla de hierro. (ver ilustración 11)



Ilustración 11: Sistema de Poleas

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Las poleas se ajustaron con una llave combinada de 7 mm y de esta manera se previno cualquier inconveniente en el giro de la etapa de mezclado. Luego se procedió a la instalación de la varilla de hierro galvanizado de 8 mm de diámetro la cual va sujeta a una de las poleas por medio de un perno cuya función es de sujetar a través de la presión que se ejerce con una llave combinada de 13 mm a esta varilla se le soldaron dos aletas de lata metálica para realizar un óptimo mezclado con un tamaño de 10 cm por 5 cm, la cual es de suma importancia al momento de realizar el proceso de mezclado. (ver ilustración 12)



Ilustración 12: Motor de 1 Hp potencia

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Por último, se procedió a construir un soporte para poder anclarlo desde la pared y así cumplir la función de sostén del motor, para esto se utilizó 1.40 metros de platina de acero con la cual se diseñó una base de 44 cm de ancho por 40 cm de largo con una altura de 50 cm. (ver ilustración 13)



Ilustración 13: Soporte para el motor

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Una vez ensamblado los demás componentes para terminar de construir la planta piloto del reactor aeróbico secuencial discontinuo, se procedió a realizar las conexiones de tuberías y conectores como dado de acero de media pulgada, un dado de acero de 1 pulgada, una llave de tubo un nudo universal, codos, teflon, y de esta manera quedò instalado el reactor aeróbico sesuencial discontinuo como se muestra en la siguiente figura. (ver ilustración 14).



Ilustración 14: Conexiones de tuberías

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

A la vez se procedió a instalar la manguera que va a ser conectada junto con el compresor de 1 hp (ver ilustración 15).



Ilustración 15: Manguera conectada para el compresor

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Por último, se hizo una prueba con el AAPP para poder comprobar el número de revoluciones sea el óptimo para el proyecto y prevenir cualquier tipo de inconvenientes. (ver ilustración 16).



Ilustración 16: Prueba del reactor

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.8.3 Obtención y Vertido del Agua Residual Domestica

El agua residual domestica fue extraída de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de tipo lodos activados de la urbanización laguna del sol que se encuentra ubicada en el km 8 vía Samborondón, se tomó en cuenta varias medidas de seguridad y equipos de protección para así manipular la procedencia del agua, usando guantes, mascarilla, baldes, cabos, canecas plásticas de 20 litros, tanque, malla para filtrar el agua residual obtenido (ver ilustración 17).



Ilustración 17: Obtención de AASS

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Mediante cálculos se determinó el volumen necesario de agua residual para llenar el tanque de PVC y para ello se utilizó un cabo con un balde para extraerla, ya que el agua residual estaba a 5 metros debajo del nivel de la superficie. Esta agua se la envasó en un tanque de PVC de 250 litros, pero se le puso una malla o cernidero para que los sólidos que aparecen en la misma se queden en la malla y solamente sea envasada el agua libre de estas partículas que

pueden dañar las tuberías y accesorios de PVC o el acrílico del reactor anaeróbico secuencial durante el proceso de tratamiento del agua residual. (Ver ilustración # 18)



Ilustración 18: Vertido de AASS hacia el tanque PVC

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9 Experimento con el Reactor Aeróbico Secuencial Discontinuo

3.9.1 Fase Previa del Experimento

En la manipulación del reactor aeróbico secuencial previamente a la ejecución del asunto experimental se demanda determinar ciertos indicadores o parámetros de medición que proporcionan la obtención de los resultados en la calidad del agua. De esta manera, es requisito realizar una prueba de medición que garantice el funcionamiento del reactor aeróbico secuencial discontinuo, la misma que se realizó con el llenado de agua potable y aire luego se procedió a la agitación que permitió establecer el óptimo funcionamiento del equipo.

3.9.1.1 Prueba Piloto del Equipo

Se procedió a realizar la prueba con AAPP antes de llenar el reactor con AASS y el inóculo para comprobar su correcto funcionamiento. (ver ilustración 19)



Ilustración 19: Prueba piloto del equipo

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9.1.2 Indicadores de Volumen y Caudal para el Experimento

a) Volumen del Cilindro

- Diámetro del cilindro = 30cm
- Altura de llenado = 84 cm

$$\text{Vol.} = \pi r^2 * h$$

$$\text{vol} = \pi(15\text{cm})^2 * 84\text{cm} = 59376.10\text{cm}^3 = \frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ cm}^3} = 59.38 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen del inóculo} = 25\% V$$

$$\text{Volumen del inóculo} = 14.85 \text{ lt}$$

b) Caudal de Llenado

- Tiempo de llenado = 68 segundos

$$Q = \frac{vol}{tiempo}$$

$$Q = \frac{59.38 \text{ litros}}{68 \text{ segundos}} = 0.87 \text{ L/seg.}$$

3.9.2 Procedimiento de Operación del Reactor Aeróbico Secuencial

Una vez instalado el reactor aerobico seuencial discontinuo se continuó con las fases previas al experimento. El reactor es suministrado de agua residual doméstica, esta acción empieza con el proceso de agitación y aireación, sedimentación período de reposo y por último la obtención de ejemplares del agua residual tratada, vaciado momento de descarga para limpieza y posterior llenado .

3.9.2.1 Llenado del Reactor

La implementación del reactor aeróbico secuencial se efectuó en la Prosperina Coop.31 Agosto mz 2137 solar 10 sector norte de la ciudad de Guayaquil. Para la ejecución del agua residual doméstica, se obtuvo primeramente un tanque con una capacidad de 250 litros, dicho tanque fue llenado con agua residual doméstica obtenida de la Urbanización Laguna del sol ubicada en el Km 8 Via Samborondón.

Se procedió a ejecutar una corrida con un tiempo de aireación y agitación y cuatro tiempos de reposo, con el fin de analizar la variación de remoción de la materia orgánica en términos del parámetro de DBO. El tiempo de aireación y agitación y los tiempos de reposo seleccionados fueron en base a la obtención de mejores remociones de materia orgánica en términos de DBO de una investigación previa realizada en el 2019 por el estudiante Fernando Sandoval de la misma Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

Primera corrida:

Tiempo de llenado = 68 segundos

Tiempo de aireación y agitación = 2 horas

Tiempo de reposo 1 del agua = 6 horas

Tiempo de reposo 2 del agua = 12 horas

Tiempo de reposo 3 del agua = 18 horas

Tiempo de reposo 4 del agua = 24 horas

Se procedió a agregar el inóculo (este inóculo consiste en el volumen de agua residual el cual fue extraído de la planta de tratamiento de lodos activados-Laguna del sol). El volumen extraído fue de 15 litros que corresponde al 25% del volumen total del reactor .Luego se procedió a agregar el agua residual al reactor seguido del medio filtrante de plástico el cuál fue llenado con un volumen del 30% del nivel de llenado.(ver ilustracion 20)

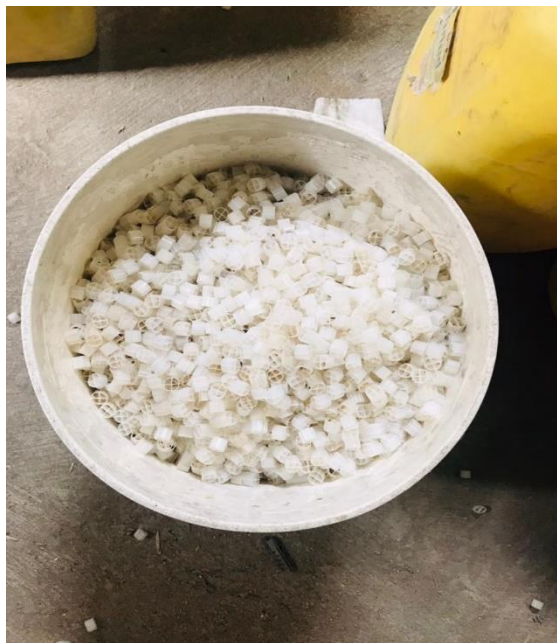


Ilustración 20: Filtro MBBR

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

Se consideró una velocidad de agitación del aspa de 87 revoluciones/minuto para lograr óptimos resultados en una sola corrida y una presión del aire de 20 PSI con el compresor de potencia 1 Hp.

3.9.3 Proceso de las Pruebas

Una vez termino todo el proceso de instalacion del reactor y establecer cada uno de los parámetros a evaluar se procede a iniciar las pruebas del reactor aeróbico secuencial discontinuo en la prosperina sector norte de la ciudad de Guayaquil.

3.9.3.1 Prueba Muestra

❖ Puesta en Marcha

La prueba se realizó el día martes 20 de Julio de 2021 a las 11:30 horas esta prueba de entrada fue solo de agua residual doméstica.(ver ilustración 21)

❖ Toma de Muestra

Una vez finalizado el periodo de prueba, se procedió a tomar la primera muestra a la entrada, haciendo uso de la llave instalada en la parte superior del reactor. Esta muestra fue de un volumen de 500 ml para el respectivo analisis de DBO5. El dia martes 20 Julio de 2021 se llevó la muestra de entrada al laboratorio INGEESTUDIOS para su respectivo análisis.A su vez se procedió a retirar el filtro antes de las pruebas de sedimentación.



Ilustración 21: Prueba de entrada

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9.3.2 Prueba 1

Puesta en Marcha

Esta prueba comenzó el día martes 20 de Julio de 2021 se tomó su muestra a las 19:30 pm con un periodo de reposo de 6 horas.

Toma de Muestra

Una vez terminado el periodo de reposo se procedió a tomar la primera muestra. Además se la conservó en un cooler debido a que esta muestra fue obtenida por la noche. (ver ilustración 22)



Ilustración 22:Toma de muestra#1

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9.3.3 Prueba 2

❖ Puesta en Marcha

La segunda muestra comenzó el día martes 20 de Julio de 2021 y finalizó el día miércoles 21 de Julio de 2021 a las 01:30 am horas con un tiempo de 12 horas de sedimentación.(ver ilustración 23)

❖ Toma de Muestra

Una vez finalizado el tiempo de reposo, se procedió a tomar su respectiva muestra para su respectivo análisis. De la misma manera , se conservó esta muestra en el cooler para llevarlas con las anterior al laboratorio.



Ilustración 23: Toma de muestra#2

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9.3.4 Prueba 3

❖ Puesta en Marcha

Esta prueba comenzó el día miércoles 21 de Julio de 2021 y finalizó a la 07:30am con un tiempo de reposo de 18 horas.(ver ilustración 24)

❖ Toma de Muestra

Se procedió a tomar la muestra a las 07:30 am para su análisis en laboraorio. De igual forma, se la conservó en el cooler junto con las muestras anteriores para llevarlas al laboratorio.



Ilustración 24: Toma de muestra#3

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9.3.5 Prueba 5

❖ Puesta en Marcha

Por último la cuarta sedimentación la cuál fue de 24 horas esta se obtuvo el día miércoles 31 de Julio a la 13:30 pm.(ver ilustración 25)

❖ Toma de Muestra

Se tomó su muestra a la 13:30 pm y se procedio a llevarlas al laboratorio INGEESTUDIOS para su respectivo análisis de DBO junto con las muestras anteriores, las cuáles estaban conservadas en el cooler.



Ilustración 25: Toma de muestra#4

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9.4 Aireación y Agitación

Para introducir el aire en el reactor se hizo uso del orificio ubicado en la parte superior izquierda de media pulgada de diámetro, se implementó una manguera de media pulgada de diámetro para que no dificulte al momento de girar las aspas.

Para empezar el proceso de aireación y agitación se decidió escoger el tiempo más óptimo de las tesis anteriores el cual fue de 2 horas. El mismo que se empleó en el proyecto de investigación.

3.9.5 Tiempo de Reposo

El primer tiempo de reposo fue de 6 horas, el segundo tiempo de reposo fue de 12 horas, para el tercer tiempo fue de 18 horas y por último el cuarto tiempo fue de 24 horas. Se empleó para este proyecto un total de 24 horas de reposo.

3.9.6 Toma de Muestra

De igual manera se procedió a instalar la llave de pico de media pulgada ubicado en el orificio de la parte frontal del cilindro, el cual sirvió de gran ayuda para las muestras del agua residual doméstico, y esta a su vez también se la empleo para las tomas de muestras una vez finalizado el proceso de agitación y aireación. (ver ilustración 26)



Ilustración 26: Toma de muestra con llave de paso

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

3.9.7 Vaciado del Reactor

Una vez finalizado el proceso de agitación y aireación, además de los 4 tiempos de sedimentación se procedió a vaciar el agua residual del reactor. Para lo cual se sacó el tapón y depositar el agua del reactor en el balde y de esta forma vaciar por completo el reactor.

3.9.8 Limpieza del reactor

Una vez finalizado el vaciado del reactor se procede con la limpieza del reactor con sus respectivos equipos de limpieza.

4 CAPITULO IV

4.1 Análisis de Resultados

Para iniciar las pruebas se llenó el reactor aeróbico secuencial en un volumen de 59,38 litros. En la siguiente Tabla 1 se muestra el resultado obtenido del agua residual entrando al reactor por el laboratorio “INGEESTUDIOS”.

Tabla 8: Resultados de Laboratorio Análisis de DBO Prueba Inicio.

Descripción	U	Resultado	Límite de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público	Límite de descarga a una Cuerpo de Agua Dulce
DBO ₅	Mg/l	119.7	250	100

Fuente: INGEESTUDIOS 2021

El resultado obtenido de la muestra afluente de concentración de DBO₅ de la planta piloto, en otras palabras, del agua residual no tratada, fue de 119.7 mg/l. Se consideró este valor de DBO inicial como el mismo para las 4 pruebas debido a que se usó el mismo caudal para todas. Este resultado de concentración está por debajo del límite de descarga al sistema de alcantarillado público, pero a su vez, está por encima del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, es decir, se necesita de una remoción adicional de materia orgánica para poder cumplir con este límite permisible de descarga.

Prueba 1

Con el reactor lleno en un volumen de 59,38 litros, se realizó la primera prueba con tiempo de agitación y aireación de 2 horas y un tiempo posterior de reposo de 6 horas. De acuerdo al laboratorio INGEESTUDIOS se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9: Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 1

Descripción	U	Resultado	Límite de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público	Límite de descarga a una Cuerpo de Agua Dulce
DBO ₅ sin tratar	Mg/l	119.7	250	100
DBO ₅ tratado	Mg/l	109.4	250	100
Porcentaje de Remoción de DBO			8.60 %	

Fuente: *INGEESTUDIOS 2021*

El primer proceso de remoción de DBO₅ se obtuvo como resultado 109.4, el cual está dentro del límite de descarga al sistema de alcantarillado público según las normas TULSMA. pero a su vez, está por encima del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce, es decir, se necesita de una remoción adicional de materia orgánica para poder cumplir con este límite permisible de descarga.

Con respecto a la concentración de entrada se removió el 8.60% de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\left(1 - \frac{\text{Concentracion DBO salida}}{\text{Concentracion DBO entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{109.4}{119.7}\right) * 100 = 8.60 \%$$

Prueba 2

Con el reactor lleno en un volumen de 59,38 litros y luego del tiempo de aireación y agitación de 2 horas, se realizó la segunda prueba con un tiempo de reposo de 12 horas.

De acuerdo al laboratorio INGEESTUDIOS se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10: Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 2

Descripción	U	Resultado	Límite de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público	Límite de descarga a una Cuerpo de Agua Dulce
DBO ₅ sin tratar	Mg/l	119.7	250	100
DBO ₅ tratado	Mg/l	65.02	250	100
Porcentaje de Remoción de DBO			45.68 %	

Fuente: INGEESTUDIOS 2021

La segunda muestra de remoción de DBO₅ se obtuvo como resultado 65.02 mg/l, el cual está dentro del límite de descarga tanto al sistema de alcantarillado público como al cuerpo de agua dulce según las normas TULSMA. Con respecto a la concentración de entrada se removió el 45.68% de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\left(1 - \frac{\text{Concentracion DBO salida}}{\text{Concentracion DBO entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{65.02}{119.7}\right) * 100 = 45.68 \%$$

Prueba 3

Con el reactor lleno en un volumen de 59,38 litros y luego del tiempo de aireación y agitación de 2 horas, se realizó la tercera prueba con un tiempo de reposo de 18 horas.

De acuerdo al laboratorio INGEESTUDIOS se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11: Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 3

Descripción	U	Resultado	Límite de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público	Límite de descarga a una Cuerpo de Agua Dulce
DBO ₅ sin tratar	Mg/l	119.70	250	100
DBO ₅ tratado	Mg/l	41.20	250	100
Porcentaje de Remoción de DBO			45.68 %	

Fuente: INGEESTUDIOS 2021

El tercer muestreo de remoción de DBO₅ se obtuvo como resultado 41.20 mg/l, el cual está dentro del límite de descarga tanto al sistema de alcantarillado público como al cuerpo de agua dulce según las normas TULSMA. Con respecto a la concentración de entrada se removió el 65.58% de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\left(1 - \frac{\text{Concentracion DBO salida}}{\text{Concentracion DBO entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{41.20}{119.7}\right) * 100 = 65.58 \%$$

Prueba 4

Con el reactor lleno en un volumen de 59,38 litros y luego del tiempo de aireación y agitación de 2 horas, se realizó la cuarta prueba con un tiempo de reposo de 24 horas.

De acuerdo al laboratorio INGEESTUDIOS se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 12: Resultados de Laboratorio, Análisis de DBO Prueba 4

Descripción	U	Resultado	Límite de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público	Límite de descarga a una Cuerpo de Agua Dulce
DBO ₅ sin tratar	Mg/l	119.70	250	100
DBO ₅ tratado	Mg/l	32.97	250	100
Porcentaje de Remoción de DBO			45.68 %	

Fuente: INGEESTUDIOS 2021

El último muestreo de remoción de DBO₅ se obtuvo como resultado 32.97 mg/l, el cual está dentro del límite de descarga al tanto al sistema de alcantarillado público como al cuerpo de agua dulce según las normas TULSMA. Es decir, se ha removido más de la mitad en comparación con la concentración de DBO de entrada, se removió el 72.46% de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\left(1 - \frac{\text{Concentracion DBO salida}}{\text{Concentracion DBO entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{32.97}{119.7}\right) * 100 = 72.46 \%$$

4.2 Resumen de Resultados

En base a los resultados obtenidos por el laboratorio y una vez ya analizados, se determinó las concentraciones y porcentajes de remoción de DBO de los procesos.

Tabla 13: Resumen de Resultados de Laboratorio

Prueba	DBO inicial	DBO Final	Porcentaje de Remoción
1	119.7	109.4	8.60%
2	119.7	65.02	45.68%
3	119.7	41.2	65.58%
4	119.7	32.97	72.46%

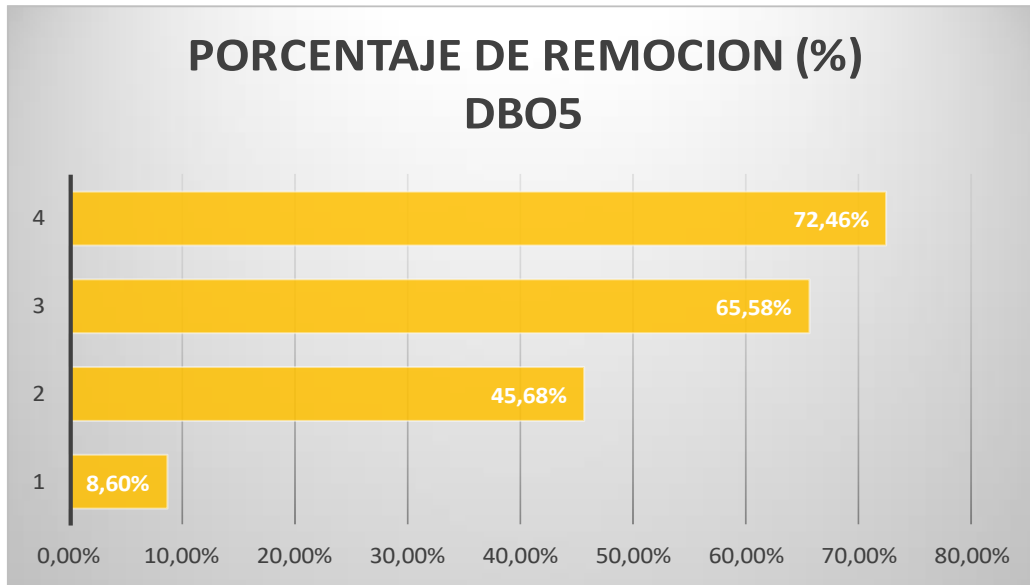
Fuente: Laboratorio INGEESTUDIOS, 2021

Tabla 14: Efectividad y Porcentaje de Remoción de DBO

Procesos	Concentración de entrada de DBO₅ (mg/l)	Concentración de salida de DBO₅ (mg/l)	Porcentaje de Remoción de DBO₅ (%)
Proceso#1	119.7	109.4	8.60%
Proceso#2	119.7	65.02	45.68%
Proceso#3	119.7	41.2	65.58%
Proceso#4	119.7	32.97	72.46 %

Fuente: Laboratorio INGEESTUDIOS. (2021)

De tal manera se pudo determinar los porcentajes de remoción de DBO5 tanto de la prueba de muestra como las 4 pruebas con diferentes horas de reposo.



Gráfica 1: Porcentaje de Remoción DBO5

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

4.2.1 Determinación del tiempo óptimo de los procesos de tratamiento de aguas residuales en función de la remoción adecuada de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

- Tiempo de aireación: 2 horas
 Tiempo de reposo: 6 horas

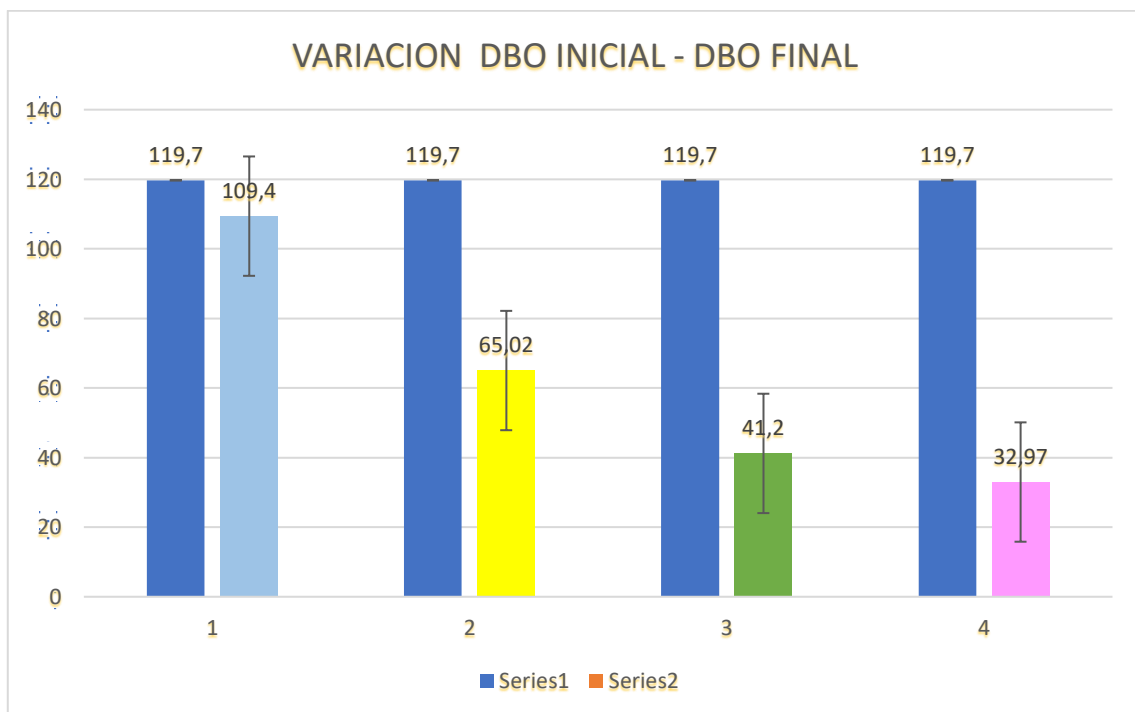
- Tiempo de aireación: 2 horas
 Tiempo de reposo: 12 horas

- Tiempo de aireación: 2 horas
 Tiempo de reposo: 18 horas

- Tiempo de aireación: 2 horas
 Tiempo de reposo: 24 horas

Se pudo observar que de acuerdo a los diferentes tiempos de sedimentación se obtiene un % de remoción más elevado. De tal forma se determinó que el tiempo de remoción más favorable para el proyecto es de 2 horas de agitación y con un tiempo de sedimentación de 24 horas.

Con los resultados obtenidos por laboratorio “INGEESTUDIOS” se calculó un promedio de los cuatro procesos de remoción de DBO₅, se determinó el 48.08%, por ello se aproxima al 50% de remoción, en otras palabras, los resultados fueron muy satisfactorio además se cumplió con el proceso de remoción de manera óptima sin problema alguno.



Gráfica 2: Variación de DBO de las pruebas

Elaborado por: Alvarado & Guamán (2021)

4.3 Efectividad y porcentaje de remoción de DBO₅ en los procesos efectuados

Como resultados de la prueba de inicio y de las 4 pruebas distintas de sedimentación se determinó mediante la observación y la experimentación que el día uno (2 horas de agitación y aireación más 6 horas de sedimentación) se removió menor porcentaje de DBO₅ (8.60%) y en el cuarto proceso o muestreo (2 horas de agitación y aeración más 24 horas de sedimentación) se removió el mayor porcentaje de DBO₅ dando así resultados favorables de 72.46%. Sin embargo, también se debe destacar que en la segunda prueba (2 horas de agitación y aireación más 12 horas de sedimentación) se cumplió con el límite de descarga de DBO₅ a un cuerpo de agua dulce.

4.4 Evaluación de resultados de laboratorio

Los resultados tienen una secuencia homogénea debido a que se empleó el tiempo de aireación y mezclado de 2 horas, en la cual se obtuvo resultados favorables para el Ing. Fernando Sandoval. Por esta razón se obtuvieron resultados óptimos desde la primera muestra para nuestro proyecto. En la primera muestra tuvo un porcentaje de remoción mínimo, debido al tiempo de reposo de 6 horas. Para la segunda muestra la concentración fue menor en comparación con la de la entrada, dando como así un porcentaje de remoción de 45.68 % y con un tiempo de reposo de 12 horas, y se cumplió con el límite permisible de descarga de DBO₅ a un cuerpo de agua dulce de 100 mg/l.

La tercera muestra de igual forma tuvo una baja concentración con un 41.2 mg/l estando dentro del límite de descarga tanto al sistema de alcantarillado público como al cuerpo de agua dulce. La última muestra también obtuvo la mínima concentración de DBO, la cual fue de 32.97 mg/l. La más baja concentración de DBO fue la de la cuarta muestra la cual tuvo un tiempo de reposo de 24 horas. Esta a su vez está dentro del límite de descarga de al sistema de alcantarillado público y a su vez dentro del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.

CONCLUSIONES

Se determinó en base del resultado obtenido de la muestra de DBO del agua residual doméstica de 119 mg/l entrando al reactor aeróbico secuencial discontinuo, excede el límite de descarga a un cuerpo de agua dulce según las normas del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULAS), en conclusión, es necesario un proceso de remoción para disminuir la concentración de carga orgánica. Mediante los cálculos realizados se determinó la cantidad necesaria de inóculo de lodo activado con un porcentaje del 25 % del volumen total del cilindro el cual fue de 15 litros para así obtener una mejor remoción y resultados favorables en cada proceso de experimentación.

Además, se agregó lecho plástico bacteriano en un volumen equivalente al 30 % con relación a la altura del agua de llenado que fue de 25 cm. La implementación del lecho plástico bacteriano para el proceso de remoción de materia orgánica en términos de DBO₅ fue de gran ayuda debido a que la gran cantidad de carga orgánica se adhiere al lecho plástico y de esta forma se disminuye la concentración de DBO₅ de la planta piloto. Con los resultados obtenidos de las cuatro pruebas, aunque cada uno con diferentes porcentajes de remoción, los resultados del muestreo obtenido por el laboratorio se determinaron que estaba dentro del límite de descarga tanto al alcantarillado sanitario como a un cuerpo de agua dulce según las normas del Texto Unificado de Legislación Secundaria del medio Ambiente (TULAS).

En la prueba uno se inició con un DBO₅ de 119.7 mg/l y se obtuvo una concentración de DBO₅ final de 109.4 mg/l cuyo porcentaje de remoción es el 8.60% el mismo que se encuentra dentro del límite de descarga a un cuerpo de alcantarillado público, pero no del límite de descarga a un cuerpo de agua dulce (100 mg/l). Se alcanzó una diferencia en DBO₅ de 10.3 mg/l con un tiempo de 6 horas de sedimentación.

En la prueba dos el porcentaje de remoción fue 45,68% la cual fue notoria en comparación con la prueba uno donde se obtuvo apenas una remoción de 8,60 % debido a que permaneció en un tiempo de 12 horas de sedimentación, ya en esta segunda prueba se pudo

lograr cumplir con los límites de descarga tanto del alcantarillado público como hacia el cuerpo de agua dulce según el TULSMA.

En la prueba cuatro se inició con un DBO_5 de 119.7 mg/l y se logró una concentración de DBO final de 32.97 mg/l cuyo porcentaje de remoción es el 72.46%, con el cual se logra cumplir tanto con el límite de descarga a un cuerpo de alcantarillado público como con el de cuerpo de agua dulce. Se alcanzó una diferencia del 86.73 mg/l debido a que se mantuvo durante 24 horas de sedimentación. En esta última prueba se obtuvo el mejor resultado de concentración de carga orgánica.

Durante la prueba uno y la prueba dos el porcentaje de remoción de DBO según el análisis de resultados va aumentando y por ende en la concentración de DBO final disminuye. Estos resultados muestran que el proyecto de investigación experimental funciona de la manera más óptima posible.

Se concluye que el tener un tiempo de aireación y mezclado de 2 horas más un tiempo de sedimentación de 24 horas se logra obtener el mejor porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DBO_5 de 72.46% y el cual alcanza los mejores resultados de concentración de DBO_5 para cumplir con los límites permisibles de descarga tanto al alcantarillado sanitario como a un cuerpo de agua dulce según el TULSMA.

RECOMENDACIONES

Debido a las altas concentraciones de carga orgánica provenientes de las aguas residuales domésticas se recomienda implementar este tipo de tecnología innovadora y versátil para así reducir las concentraciones de materia orgánica en términos de DBO sin que afecte el medio ambiente.

Se recomienda a futuros estudiantes que realicen tesis de investigación que realicen adecuaciones en el interior del reactor aeróbico secuencial con el fin de retener el lecho plástico bacteriano y, no tener que extraerlos con el fin de mejorar el proceso de degradación de la materia orgánica y volver a probar el tratamiento con los mismos tiempos de aireación y agitación y de sedimentación, ya que con estos se obtuvieron adecuados porcentajes de remoción de DBO.

A su vez se recomienda realizar otra prueba experimental con diferentes volúmenes de inóculo y de lecho plástico bacteriano para poder realizar un análisis comparativo y de esta forma determinar los mejores porcentajes de remoción de materia orgánica en términos de DBO.

Referencias Bibliográficas

Admin. (2007). *Estrucplan*. <https://estrucplan.com.ar/folletos-informativos-de-tecnologia-de-aguas-residuales-de-la-epa-reactores-secuenciales-por-tandas-parte-2/>

Ambiente, M. d. (2017). <https://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/#:~:text=Las%20descargas%20de%20aguas%20residuales%2C%20provenientes%20de%20proyectos%2C%20obras%20o,cuerpos%20de%20agua%20tienen%20efectos>

Astillero, A. G. (2018). *Ecología verde*. <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-tratamiento-de-aguas-residuales-1448.html>

Barrezueta, H. d. (2015). *LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*.
https://www.etapa.net.ec/Portals/0/TRANSPARENCIA/Literal-a2/LEY-ORGANICA-DE-RECURSOS-HIDRICOS_-USOS-Y-APROVECHAMIENTO-DEL-AGUA.pdf

Belzona. (s.f). *Belzona*.

https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

Bermudez, R. (s.f). *Tecnología Química.*

<https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>

Cyclus. (s.f). <https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/#:~:text=Los%20tratamientos%20primarios%20son%20aquellos,%2C%20coagulaci%C3%B3n%20E2%80%93%20floculaci%C3%B3n%20y%20filtraci%C3%B3n.>

aguas/tratamiento-

primario/#:~:text=Los%20tratamientos%20primarios%20son%20aquellos,%2C%20coagulaci%C3%B3n%20E2%80%93%20floculaci%C3%B3n%20y%20filtraci%C3%B3n.

oagulaci%C3%B3n%20E2%80%93%20floculaci%C3%B3n%20y%20filtraci%C3%B3n.

%B3n.

Domus-Agua. (2019). *Qué son los Reactores Secuenciales Discontinuos (SBR).*

<https://www.domosagua.com/blog/reactores-secuenciales-discontinuos>

ECUADOR, C. D. (2017). *Sección primera Agua y alimentación.*

<https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>

Ecuatoriana, N. T. (2014). *Demanda Bioquímica de Oxígeno.*

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1202.pdf>

Ecuatoriana, S. I. (2014). *LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL .*

Fluence. (2021). <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-el-intercambio-ionico/>

Hidalgo, I. V. (2021). <https://www.gestiopolis.com/tipos-estudio-metodos-investigacion/>

Industrial, M. (02 de febrero de 2015). <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/analisis-comparativas-y-relaciones-entre-la-dbo-dqo-cot>

JERSON, C. M. (2020). *Remoción de contaminante de un efluente de una empacadora utilizando una mezcla microalgas (Chlorella Spirulina) y microorganismo (lodos activados)*”.

Lecca, E. R. (2015). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno* . <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

López, M. (2017). *Universidad Politécnica de Valencia*.
<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/92163/ORTIZ%20-%20Estudio%20de%20la%20evoluci%C3%B3n%20de%20los%20par%C3%A1metros%20de%20funcionamiento%20de%20un%20reactor%20SBR%20alimentado%20...pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Luis, R. (2019). <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/Investigaci%C3%B3n-experimental.pdf>

Medina, A. R. (2019). *EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO) EN UN REACTOR ANAERÓBICO SECUENCIAL DISCONTINUO TRATANDO AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA*.
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2872/1/T-ULVR-2609.pdf>

Noguera, B. (22 de Octubre de 2020). *IQR (ingeniería Química)*.
<https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/10/reactores-de-mezcla-completa-cstr.html>

Nuevo, D. (9 de Noviembre de 2018). *TECPA*. <https://www.tecpa.es/edar-tratamiento-secundario-depuracion-aguas/#:~:text=El%20tratamiento%20secundario%2C%20tambi%C3%A9n%20denominado,biodegradables%20o%20f%C3%A1ciles%20de%20retirar.>

Paredes, J. F. (2014). *REACTORES DISCONTINUOS SECUENCIALES UNA TECNOLOGÍA VERSÁTIL EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.*

<http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v24n1/v24n1a03.pdf>

Raffino, M. (4 de Agosto de 2020). *técnicas de investigación.* <https://concepto.de/tecnicas-de-investigacion/#ixzz6wrTmSyLT>

Ríos-Tobó, S. (2017). *Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano.* <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

Rodriguez, C. (2021). *hidrotec.* <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

Rodriguez, H. (2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes.* <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

s.f. (11 de diciembre de 2016). SPENA GROUP: <https://spenagroup.com/tratamiento-primario-aguas-residuales-sistemas-filtracion/#:~:text=El%20SISTEMA%20DE%20FILTRACI%C3%93N%20se,presentan%20en%20las%20aguas%20residuales.>

s.f. (2016). *Filtec.* https://www.depuradoras.es/blog/279_funcionamiento-de-la-tecnologia-sbr

S.f. (4 de Junio de 2019). https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31

S.f. (15 de enero de 2019). *Acuatecnica*. <https://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-secundario/>

S.F. (2016). *Hidritec*. <https://www.bairesanalitica.com/dqo-demanda-quimica-de-oxigeno-dbo-demanda-biologica-de-oxigeno---news--5-23>

S.F. (2018). *condoncheb envitech*. <https://blog.condorchem.com/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales/>

S.F. (2019). *OBSERVACION DIRECTA* . <https://okdiario.com/curiosidades/conoce-metodo-observacion-directa-3628568>

s.f. (2020). http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Aguas/Determinacion_de_DB_O5.htm

S.F. (2021). *Cidta*. <https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>

Sandoval, F. (2019). “*EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE*”. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/3414/1/T-ULVR-2995.pdf>

Taersa. (2016). *Tratamiento de Aguas Efluentes y Reuso* S.A. <https://www.taersa.com/tecnologias-procesos/tratamiento-de-efluentes/tratamiento-secundario-o-biologico/reactores-secuenciales-batch-sbr/>

Zarza, L. F. (2017). <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

GLOSARIO

Inóculo

m. biol. Suspensión de microorganismos que se transfieren a un ser vivo o a un medio de cultivo a través de la inoculación. Suspensión de microorganismos que administran a un ser vivo de forma voluntaria o involuntariamente a tejidos vivos o a un medio de cultivo por inoculación. Se conoce como inóculo el conjunto de microorganismos que son transferidos a un huésped mediante la inoculación.

DBO

Demanda Bioquímica de Oxígeno

Reactor

Es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleven a cabo una o varias reacciones químicas. Estas unidades, por lo general, están constituidas por recipientes cerrados, los cuales cuentan con líneas de entrada y salida para las sustancias químicas con las que se va a trabajar.

ANEXOS

Anexos I: Resultados obtenidos de la Prueba Muestra sin tratar



INFORME DE RESULTADOS				No.0300-21		
FECHA DEL INFORME: 2021/07/28 INFORMACIÓN DEL CLIENTE Empresa : Dirección : Solicitado por : Srita Tatiana Alvarado		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA Tipo de Muestra : Identificación de la muestra : Entrada del Reactor Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013 Fecha de Toma : 2021/07/20 Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente Hora : Fecha de Ingreso : 2021/07/20				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS F.Inicio del Análisis : 2021/07/20 T°C : 27 F.Fin del Análisis : 2021/07/25 %H : 58,66						
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	119.7	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100


Ing. Mario Márquez
 Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refriere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015) (*) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
- (U*) Incertidumbre de medida

Anexos 2: Resultado obtenidos de la primera muestra



INFORME DE RESULTADOS						No.0301-21
FECHA DEL INFORME: 2021/07/28		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA				
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra :				
Empresa :		Identificación de la muestra : Entrada del Reactor con 6 Horas de Sedimentación				
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013				
Solicitado por : Srta Tatiana Alvarado		Fecha de Toma : 2021/07/21				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente				
F.Inicio del Análisis : 2021/07/21	T°C : 27,5	Hora :				
F.Fin del Análisis : 2021/07/26	%H : 56,86	Fecha de Ingreso : 2021/07/21				
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	109.4	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100


 Ing. Mario Márquez
 Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015)
- (**) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
 (U*) Incertidumbre de medida

Anexos 3: Resultado obtenidos de la segunda muestra



INFORME DE RESULTADOS				No.0302-21		
FECHA DEL INFORME: 2021/07/28		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA				
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra :				
Empresa :		Identificación de la muestra : Entrada del Reactor con 12 Horas de Sedimentación				
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013				
Solicitado por : Srta Tatiana Alvarado		Fecha de Toma : 2021/07/21				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente				
F.Inicio del Análisis : 2021/07/21	T°C : 27,5	Hora :				
F.Fin del Análisis : 2021/07/26	%H : 56,86	Fecha de Ingreso : 2021/07/21				
RESULTADOS						
Parámetro	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	65.02	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100


Ing. Mario Márquez
 Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se registró al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I - Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015)
- (**) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
 (U*) Incertidumbre de medida

Anexos 4: Resultado obtenidos de la tercera muestra



INFORME DE RESULTADOS						No.0303-21
FECHA DEL INFORME: 2021/07/28		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA				
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra :				
Empresa :		Identificación de la muestra : Entrada del Reactor con 18 Horas de Sedimentación				
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013				
Solicitado por : Srta Tatiana Alvarado		Fecha de Toma : 2021/07/21				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente				
F.Inicio del Análisis : 2021/07/21	T°C : 27,5	Hora :				
F.Fin del Análisis : 2021/07/26	%H : 56,86	Fecha de Ingreso : 2021/07/21				
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	41.2	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100


Ing. Mario Márquez
 Jefe del Laboratorio

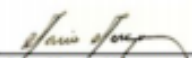
NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se registrará al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiera.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I - Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015) (*) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
- (U*) Incertidumbre de medida

Anexos 5: Resultado obtenidos de la cuarta muestra



INFORME DE RESULTADOS						No.0304-21
FECHA DEL INFORME: 2021/07/28 INFORMACIÓN DEL CLIENTE Empresa : Dirección : Solicitado por : Srta Tatiana Alvarado		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA Tipo de Muestra : Identificación de la muestra : Entrada del Reactor con 24 Horas de Sedimentacion Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013 Fecha de Toma : 2021/07/21 Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente Hora : Fecha de Ingreso : 2021/07/21				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS F.Inicio del Análisis : 2021/07/21 T°C : 27,5 F.Fin del Análisis : 2021/07/26 %H : 56,86						
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	32.97	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100


 Ing. Mario Márquez
 Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este ítem se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015)
- (**) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
 (U*) Incertidumbre de medida