

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

**“PROPUESTA Y ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA
EMPRESA DE PRODUCTOS DE LIMPIEZA EN LA CIUDAD
DE GUAYAQUIL”**

Previo a la obtención del título de
INGENIERO QUÍMICO

Autores

**TROY ALBERTO ASPIAZU SOTO
ADOLFO GERMÁN MONAR FREIRE**

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2017

RESUMEN

A lo largo de los años, las industrias encargadas en desarrollar productos de limpieza, desinfectantes o sustancias afines con altas concentraciones de tensoactivos, han ido creciendo debido a la gran demanda de los consumidores; por lo cual se ha generado un desequilibrio en las descargas de las aguas de proceso, dirigidas hacia el alcantarillado público. Este suceso ha ido provocando daños y molestias al medio ambiente. Por este motivo se tomó la iniciativa, de analizar los problemas, en una empresa seleccionada como anónima, elegida para la remediación en los efluentes de descarga. Para ello se desarrolló un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, experimentando con dos tipos de bacterias diferentes, conformados por *Pseudomona Aeruginosa* y *Bacillus SP*. Eligiendo como precursora del tratamiento a la *Pseudomona Aeruginosa*, debido a su amplia función de remoción con una eficiencia del 98,31% en ambientes poco favorables a su desarrollo; como son los cambios de pH y de temperatura. El fundamento de estudio, es que los parámetros exigidos en los efluentes cumplan con las exigencias del Municipio de Guayaquil, empleando un sistema de tratamiento conformado por un separador de aceites y grasas, reactor biológico aeróbico de lodos activados y un sedimentador circular secundario.

Palabras Claves: *Tensoactivos, Pseudomona Aeruginosa, Bacillus SP, reactor biológico aeróbico, sedimentador circular secundario.*

ABSTRACT

Over the years, industries in charge of developing cleaning products, disinfectants or related substances with high concentrations of surfactants, have been growing due to the great demand of the consumers; Resulting in an imbalance in the discharges of the process waters, directed towards the public sewer system. This event has been causing damage and discomfort to the environment. For this reason the initiative was taken, to analyze the problems, in a company selected as anonymous, and chosen for the remediation in the discharge effluents. For this, an industrial wastewater treatment system was developed, experimenting with two different types of bacteria, made up of *Pseudomona Aeruginosa* and *Bacillus SP*. Choosing as precursor of the treatment to the *Pseudomona Aeruginosa*, due to its wide function of removal with an efficiency of 98.31% in environments unfavorable to its development; Such as changes in pH and temperature. The basis of study is that the required parameters in the effluents meet the requirements of the Municipality of Guayaquil, using a treatment system conformed by an oil and grease separator, aerobic activated sludge biological reactor and a secondary circular settler.

Key Words: Surfactants, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus SP, aerobic biological reactor, secondary circular settler.

DEDICATORIA

En primer lugar quiero dedicar este proyecto a mis padres, el señor Troy Aspiazu Ronquillo y la señora Pilar Soto Moreira, los cuales no solo me han apoyado en mi carrera universitaria, sino a lo largo de toda mi vida, inculcándome valores y principios y lo más importante el amor y temor de Dios. Quiero dedicar también este trabajo a mis hermanos, a Ronny y a Josué, los cuales han tenido tantas expectativas en mí, gracias a ellos he tenido ese empuje para conseguir mis metas y objetivos, tanto en lo académico como lo profesional.

Troy Aspiazu Soto

Quiero agradecer principalmente a mi papá Germán Monar, a mi mamá Marcia Freire, a mi abuelita Bélgica Bonilla y a mi bisabuelita Dorila Aguiar que hoy en día me guía desde el cielo. Porque a pesar de las dificultades económicas y diferentes adversidades en el transcurso del tiempo, me han dado siempre lo mejor de sí. Me han dado la mejor herencia; que es la educación académica, tolerancia y el respeto hacia los demás, inculcándome valores y doctrinas, para ser mejor día a día como padre, hijo, amigo y hermano.

Adolfo Monar Freire

AGRADECIMIENTOS

Primero le agradecemos infinitamente a Dios, ya que sin el nada es posible, le agradecemos por permitirnos concluir con este proyecto y alcanzar una meta más en nuestras vidas.

Agradecemos a la ingeniera Alby Aguilar, nuestra tutora por brindarnos su tiempo y dedicación para la orientación de este trabajo y para el desempeño de las diferentes actividades que han formado parte de la culminación de la materia integradora de carrera.

Agradecemos especialmente al ingeniero Raúl Serrano, por compartimos conocimientos y procedimientos exclusivos y por facilitarnos las instalaciones de su empresa Quality Corporation S.A., ya que sin él no hubiera sido posible la realización experimental del proyecto.

Finalmente agradecemos al ingeniero Francisco Torres, la ingeniera Nadia Flores, el Dr. Luis Domínguez y la Dra. Maribel Jaramillo por estar siempre predispuestos para el préstamo de equipos y laboratorios para la realización y culminación de la materia integradora.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Troy Alberto Aspiazu Soto

Adolfo Germán Monar Freire

Y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Troy Aspiazu Soto
C.I: 0930956586

Adolfo German Freire
C.I: 0925017618

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DBO₅	Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
PTAR	Planta de Tratamiento de Agua Residual
COT	Carbono Orgánico Total
OD	Oxígeno Disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
SST	Sólidos Suspendidos Totales
ST	Sólidos Totales
SD	Sólidos Sedimentales
ARI	Agua Residual Industrial
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	i
DECLARACIÓN EXPRESA.....	ii
ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE FIGURA.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
CAPITULO 1.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.2. Justificación.....	16
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo General.....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Hipótesis.....	17
CAPITULO 2.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Industria de Productos de Limpieza.....	18
2.1.1. Antecedentes.....	18
2.1.2. Desechos tóxicos.....	18
2.1.3. Consecuencias en el Medio Ambiente.....	19
2.2. Las Aguas Residuales.....	19
2.2.1. Caracterización de las Agua Residuales.....	21
2.2.1.1. Características Físicas.....	21
2.2.1.2. Características Químicas.....	26
2.2.1.3. Características Biológicas.....	31
2.2.2. Tipos de Aguas Residuales.....	34
2.2.2.1. Aguas Residuales Urbanas.....	34
2.2.2.2. Aguas Residuales Industriales.....	38
2.3. Tratamiento de Aguas Residuales.....	40

2.3.1.	Pretratamiento.....	41
2.3.1.1.	Separación de Sólidos Grandes.....	41
2.3.1.2.	Desbaste.....	42
2.3.1.3.	Tamizado.....	43
2.3.1.4.	Desarenado.....	44
2.3.1.5.	Separación de Aceites y Grasas.....	45
2.3.2.	Tratamiento Primario.....	46
2.3.2.1.	Sedimentación.....	46
2.3.2.2.	Flotación.....	47
2.3.2.3.	Tratamiento Físico-Químico.....	48
2.3.2.4.	Filtración.....	49
2.3.2.5.	Neutralización.....	50
2.3.3.	Tratamiento Secundario.....	50
2.3.3.1.	Proceso de Lodo Activado.....	51
2.3.3.2.	Tratamiento de Tensoactivos con Pseudomona.....	52
2.3.3.3.	Digestión Anaeróbica de Lodos.....	52
2.3.4.	Tratamiento Terciario.....	53
2.3.4.1.	Desnitrificación Biológica.....	53
2.3.4.2.	Eliminación de Fósforo.....	54
2.4.	Factores para Dimensionamiento.....	54
2.4.1.	Caudal.....	55
2.4.2.	Muestreo.....	55
2.4.3.	Ecuaciones de Diseño.....	56
2.4.3.1.	Separador de Aceites y Grasas.....	57
2.4.3.2.	Sedimentador Circular Secundario.....	57
2.4.3.3.	Reactor Biológico de Lodos Activados.....	58
2.5.	Normativa Ambiental Vigente.....	61
2.5.1.	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.....	61
	Del Ministerio de Ambiente	
2.5.1.1.	Límites de Descarga al Sistema de.....	62
	Alcantarillado Público	
2.5.1.2.	Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.....	63
2.5.1.3.	Límites de Descarga a un Cuerpo de.....	65
	Agua Marina	

2.5.2. Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil.....	66
CAPITULO 3.....	68
3. METODOLOGÍA.....	68
3.1. Medición de Caudales.....	68
3.1.1. Materiales y Equipos.....	68
3.1.2. Procedimientos.....	68
3.2. Toma de Muestras.....	70
3.2.1. Materiales y Equipos.....	71
3.2.2. Procedimientos.....	71
3.3. Caracterización de los Efluentes.....	72
3.3.1. Materiales y Equipos.....	74
3.3.2. Procedimientos.....	75
3.4. Experimentación.....	78
3.4.1. Experimentación con Bacterias.....	78
3.4.1.1. Materiales y Equipos.....	79
3.4.1.2. Procedimientos.....	80
3.4.2. Experimentación con Prototipo.....	84
3.4.2.1. Materiales y Equipos.....	84
3.4.2.2. Procedimientos.....	84
3.5. Diseño del Sistema para el Tratamiento de los Efluentes.....	85
3.5.1. Pretratamiento.....	86
3.5.2. Tratamiento Primario.....	88
3.5.3. Tratamiento Secundario.....	91
3.6. Costos.....	96
3.6.1. Costos de Diseño y Montaje.....	97
3.6.2. Costos de Operación y Mantenimiento.....	98
3.7. Justificación de la elección del Diseño.....	99
3.7.1. Justificación por el Rendimiento.....	100
3.7.2. Justificación Económica.....	100
3.7.3. Justificación Espacial.....	102
3.8. Evaluación de Impacto Ambiental.....	103
3.8.1. Manejo de Lodos.....	105

CAPITULO 4.....	106
4. RESULTADOS.....	106
4.1. Caracterización antes del Tratamiento.....	106
4.2. Experimentación.....	107
4.3. Caracterización después del Tratamiento.....	110
4.4. Eficiencia del Tratamiento.....	111
CAPITULO 5.....	112
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	112
5.1. Caracterización antes del Tratamiento.....	112
5.2. Experimentación.....	112
5.3. Caracterización después del Tratamiento.....	115
CAPITULO 6.....	116
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
6.1. Conclusiones.....	116
6.2. Recomendaciones.....	118
7. REFERENCIAS.....	119
8. GLOSARIOS DE TÉRMINOS Y SIMBOLOGÍA	124
9. APÉNDICES / ANEXOS.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Clasificación de las Partículas Sólidas Según su Diámetro.....	23
Figura 2.2. Sistema de Pretratamiento.....	41
Figura 2.3. Reja Para Sólidos Gruesos.....	42
Figura 2.4. Cuchara bivalva.....	42
Figura 2.5. Rejilla Manual.....	43
Figura 2.6. Rejilla Automática.....	43
Figura 2.7. Tamiz Rotatorio.....	44
Figura 2.8. Tamiz Estático.....	44
Figura 2.9. Desarenadores Tipo Vórtice: Unidad Pista.....	45
Figura 2.10. Separador de aceites y grasas.....	46
Figura 2.11. Sedimentador Circular.....	47
Figura 2.12. Flotación por Espuma en la Máquina.....	48
Figura 2.13. Test de Jarras Coagulantes-Floculantes.....	49
Figura 2.14. Filtración por Membranas de la PTAR ESPOL.....	49
Figura 2.15. Proceso de Neutralización Ácido-Base.....	50
Figura 2.16. Proceso Aeróbico de Lodos Activados.....	51
Figura 2.17. Reproducción de Pseudomonas en un Medio Surfactante.....	52
Figura 2.18. Proceso Anaeróbico de Lodos de Aguas Residuales.....	52
Figura 2.19. Desnitrificación por Canales de Oxidación.....	53
Figura 2.20. Alternativas de Precipitado Para Eliminación de Fósforo.....	54
Figura 3.1. Medición de Caudales.....	69
Figura 3.2. Proceso de Toma de la Muestra Compuesta.....	71
Figura 3.3. Equipos empleados para el análisis de muestras.....	74

Figura 3.4. Medición de pH, Conductividad y OD en el Multiparámetro.....	76
Figura 3.5. Preparación de Muestra.....	77
Figura 3.6. Muestra en el Digestor.....	77
Figura 3.7. Reactor con Pseudomona.....	78
Figura 3.8. Reactor con Bacillus sp.....	78
Figura 3.9. Materiales y Equipos Utilizados en el Proceso de Experimentación.....	79
Figura 3.10. Montaje del prototipo.....	80
Figura 3.11. Medición de pH.....	80
Figura 3.12. Pesaje de bacterias.....	80
Figura 3.13. Inoculación de bacterias.....	80
Figura 3.14. Sistema en operación.....	81
Figura 3.15. Medición de DQO en el espectrofotómetro.....	81
Figura 3.16. Conteo de bacterias con un microscopio en la cámara de Neubauer.....	82
Figura 3.17. Determinación de biomasa en un cono Imhoff por sedimentación....	82
Figura 3.18. Preparación de la muestra de agua residual fresca.....	83
Figura 3.19. Preparación de muestras De agua residual tratada.....	83
Figura 3.20. Preservación de las muestras.....	83
Figura 3.21. Instalación de la Bomba de Aireación Sumergible.....	85
Figura 3.22. Inoculación de Bacterias al Reactor Biológico.....	85
Figura 3.23. Afluente de Agua Residual Fresca.....	85
Figura 3.24. Clarificación del agua en el Sedimentador Secundario.....	85
Figura 3.25. Diseño de la PTAR Industrial.....	86
Figura 3.26. Rejilla de desbaste con perforaciones circulares.....	87

Figura 3.27. Separador de aceites y grasas.....	87
Figura 3.28. Sedimentador Secundario Circular.....	89
Figura 3.29. Reactor de lodos activados.....	91
Figura 3.30. Gráfica de Índice de costo vs Año.....	96
Figura 4.1. DQO (mg/L) Vs Tiempo (Días) - Bacillus SP.....	108
Figura 4.2. DQO (mg/L) Vs Tiempo (Días) – Pseudomona.....	109
Figura 5.1. DQO y Crecimiento de bacteria Pseudomona Aeruginosa vs Tiempo.....	113
Figura 5.2. DQO y Crecimiento de bacteria Bacillus sp vs Tiempo.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Solubilidad del oxígeno en función de la temperatura.....	22
Tabla 2.2. Condición General del Agua Residual.....	24
Tabla 2.3. Tipos de Olores Asociados con Aguas Residuales.....	25
Tabla 2.4. Volumen de Muestra según la concentración esperada de DBO.....	28
Tabla 2.5. Biodegradación del Agua Residual.....	29
Tabla 2.6. Comparación entre la DBO, DQO y COT para la Caracterización de un Agua Residual.....	29
Tabla 2.7. Relación de algunos compuestos inorgánicos y el Agua Residual.....	30
Tabla 2.8. Clasificación de los Microorganismos.....	32
Tabla 2.9. Organismos Indicadores para la Determinación de la Calidad para Diferentes Usos del Agua.....	33
Tabla 2.10. Composición Físicoquímica Típica de las Aguas Residuales Urbanas.....	35
Tabla 2.11. Concentraciones Típicas de Microorganismos Presentes en Aguas Residuales Urbanas.....	36
Tabla 2.12. Característica Típica de las Aguas Residuales Blancas.....	37
Tabla 2.13. Contaminación de las Aguas Residuales Negras.....	37
Tabla 2.14. Tipos de Vertidos Industriales.....	39
Tabla 2.15. Valores Característicos de Descargas Industriales.....	40
Tabla 2.16. Tipos de Tamiz y su Tamaño de Orificio.....	43
Tabla 2.17. Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público.....	62
Tabla 2.18. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.....	64
Tabla 2.19. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Marina.....	65

Tabla 2.20. Límites de Descarga al Alcantarillado Público para una Empresa que se Dedicar a la Fabricación de Jabones y Detergentes.....	67
Tabla 3.1. Caudales Promedios de los Efluentes de la Empresa.....	69
Tabla 3.2. Condiciones Para el Proceso de Toma de Muestras.....	72
Tabla 3.3. Caracterización de los Efluentes de la Empresa.....	73
Tabla 3.4. Índice de Costos por Años.....	96
Tabla 3.5. Costos en el año 1978, para diferentes sistemas.....	97
Tabla 3.6. Costos en el año 1977, para diferentes sistemas de Tratamiento.....	98
Tabla 3.7. Costos y Eficiencias de Sistemas de Tratamientos Biológicos.....	102
Tabla 3.8. Valoración de Impactos Generados por el Sistema de Tratamiento Propuesto.....	104
Tabla 4.1. Caracterización de los Efluentes antes del Tratamiento.....	106
Tabla 4.2. Experimentación con la Bacteria Bacillus SP.....	108
Tabla 4.3. Experimentación con la Bacteria Pseudomona.....	109
Tabla 4.4. Caracterización de los Efluentes después del Tratamiento.....	110
Tabla 4.5. Eficiencias del Sistema de Tratamiento Propuesto.....	111

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El principal cuestionamiento que se plantean las personas en la actualidad, es el poder responder con exactitud a sus preguntas formuladas sobre las repercusiones que generan los desechos líquidos contaminantes. Es imposible poder cuantificar los sucesos que pueden llegar a provocarse en un futuro, pero muy real discernir y concientizar sobre las prevenciones y remediaciones sobre las descargas de aguas residuales industriales.

Por este motivo las diferentes industrias, son los principales interesados en desarrollar diversas plantas de tratamiento de efluentes líquidos residuales, para promover el bienestar de los ciudadanos y de los ecosistemas afines.

Para ello, este proyecto integrador de fin de carrera, ha sido el encargado de implementar un sistema de tratamiento adecuado, en una empresa tomada como anónima ubicada en la ciudad de Guayaquil que produce detergentes, desinfectantes y sustancias afines con altas concentraciones de tensoactivos.

Por disposiciones de espacio se formularon dos incógnitas. La primera que fue la elección de un sistema de tratamiento físico-químico y la segunda un sistema de tratamiento biológico. Lo cual su implementación iba a depender del factor económico disponible de la empresa antes mencionada.

Una vez seleccionada la alternativa más viable, en este caso el tratamiento biológico por motivos de espacio de construcción y costos, se procedió a determinar qué tipo de bacteria se iba a utilizar, para que proceda a una degradación eficiente de contaminantes y a su vez que pueda adaptarse al medio sin percance alguno.

Para la cual se experimentó con dos tipos de bacterias diferentes que son la *Pseudomona Aeruginosa* y *Bacillus SP*, para elegir la más eficiente y que cumpla con la degradación de contaminantes presentes en los efluentes de proceso.

En la experimentación, a medida que la bacteria se iba adaptando al proceso biológico, bajo un ambiente monitoreado, constantemente se notó que el reactor

con inoculación de *Pseudomonas Aeruginosas*, fue el que mejores resultados presentó al momento de verificar parámetros de seguimiento, como lo fueron la demanda química de oxígeno (DQO) y la generación de biomasa (lodos). Dichos valores fueron proporcionales, ya que a medida que el DQO fue disminuyendo, la concentración de lodos generados aumentaba.

Finalmente todo el proceso desarrollado promovió a un correcto tratamiento, ya que los resultados obtenidos en las descargas de agua residual hacia el alcantarillado público, cumplió con todos los parámetros requeridos por el Municipio de Guayaquil.

1.1. Planteamiento del Problema

La depuración de los efluentes es una parte primordial en la gestión ambiental de cualquier industria. Debe ser asumida desde dos enfoques; como una obligación medioambiental con la sociedad y como parte del proceso de producción. En esta última faceta, se deben tener en cuenta dos tipos posibles de factores económicos (Julia, Enrique, Francisco, & Eduardo, 1997):

- Costos de Producción: Diseño del Sistema de Tratamiento
- Costos de Seguridad: Reducción de problemas de seguridad e higiene ocupacional y de penalizaciones legales por delitos ambientales.

En el país, el gobierno ecuatoriano ha expresado su preocupación por la regulación ambiental, y ha iniciado una legislación para el control de la contaminación potencial que se genera en el sector industrial, realizando la implementación de leyes, ordenanzas y acuerdos que permitan que dicho sector y asociados se sometan a la regulación de sus descargas tanto líquidas, sólidas y gaseosas (Buenaño D. M, 2015).

La iniciativa tecnológica como futuros ingenieros químicos, enfrenta realidades de desarrollo tecnológico sobre los fundamentos de las ciencias naturales, matemáticas y aquellas que integran los procesos ligados a la transformación de la materia. Ya que el proceso de tratamiento de efluentes industriales depende en gran parte de la aplicación de sistemas de bombeos, transformación de la materia,

energía, dimensionamientos de equipos, dosificación de sustancias, etc. Es prioridad fundamental del ingeniero químico desarrollar esta clase de proyectos en beneficio directo del sector industrial ecuatoriano (Freire E. P, 2012).

En la actualidad la empresa sometida a estudio, por temas de penalizaciones legales va a permanecer anónima, dicha empresa se dedica a la elaboración de productos de limpieza, tales como detergentes, jabones líquidos, desengrasantes, removedores de látex, cera para pisos, etc. Presenta ciertos inconvenientes en la parte del tratamiento de sus efluentes, por lo cual no cumple con la ordenanza municipal. Para un sistema de tratamiento eficiente, la propuesta a considerar, es una adecuada operación y mantenimiento de los equipos garantizando una vida útil prolongada de los mismos. Los costos de instalación, operación y mantenimiento de dicho sistema propuesto, son un parámetro importante a tomar en cuenta, dichos costos pueden variar en función de la carga contaminante, horas de operación diaria y caudales de los efluentes generados. Es necesario la evaluación de los costos para verificar que los mismos se encuentran dentro de un rango ofertado (Carlos, 2010).

A continuación se propone la alternativa más idónea para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales en dicha empresa, logrando que los parámetros de los efluentes generados después de dicho tratamiento, se encuentren por debajo de los límites máximos permisibles que se encuentran en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. (Ver tabla 9 del TULSMA), y para que así la empresa pueda realizar las descargas de sus efluentes tratados hacia el alcantarillado público según la disposición del Municipio de Guayaquil.

Cabe recalcar que el Municipio de Guayaquil para el control de las descargas industriales al alcantarillado público clasifica las empresas según su ocupación industrial, en dicha agrupación se detallan los parámetros a controlar según la ocupación de cada industria. En el caso de este proyecto para una actividad industrial dedicada a la "Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir" se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros: DBO₅, DQO,

unidades de color, grasas y aceites, fenoles, zinc, tensoactivos y sólidos suspendidos totales (Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil, 2017).

1.2. Justificación

La ejecución de este proyecto es de suma importancia para el sector industrial del país, más específicamente para empresas que se dediquen a la fabricación de productos de limpieza, como es el caso de la empresa sometida al estudio en este proyecto. Gracias a la presente propuesta de tratamiento para los efluentes generados en el área de producción, empresas con estas características se evitarían problemas legales con la Municipalidad de Guayaquil por superar los límites máximos permisibles de descargas líquidas industriales a la red de alcantarilla (Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil, 2017).

Este proyecto de titulación tiene como principal justificación la parte de la conservación del medio ambiente, mediante un compromiso del cuidado del medio ambiente, salud de ciudadanos y cumplimiento de las leyes, regulaciones y ordenanzas medioambientales vigentes.

Finalmente la ejecución de proyectos enfocados al tratamiento de aguas residuales, es una tendencia que ha crecido en estos últimos años en el país, con lo cual vemos justificada la elaboración de dicho proyecto de titulación, ya que estamos solucionando temas o problemas que actualmente ocurren en varios sectores industriales del país.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de tratamiento de agua residual industrial, para una empresa de fabricación de productos de limpieza, con el fin que sus efluentes cumplan con la ordenanza municipal del cantón de Guayaquil.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Especificar las condiciones actuales de los efluentes industriales de la empresa sometida al estudio.
- Determinar el tipo de bacteria óptima para el sistema de tratamiento mediante experimentación en laboratorio.
- Seleccionar la propuesta más adecuada para el sistema de tratamiento de agua residual en función de la eficiencia, viabilidad de espacio y costos.
- Proponer un sistema de tratamiento de agua residual con su respectivo manual de operación y mantenimiento.

1.4. Hipótesis

El Tratamiento de las aguas residuales industriales con la bacteria *Pseudomona Aeruginosa* cumple con una adecuada remoción de contaminantes, debido a que todos los parámetros que exige el Municipio de Guayaquil se encuentran dentro del rango permisible para la descarga al alcantarillado público.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el marco teórico en el que se basa la investigación del proyecto. Se muestra la fundamentación de la experimentación de una manera coherente y coordinada, de acuerdo a definiciones y estudios realizados de tal forma que el problema pueda ser abordado con lógica y bases teóricas.

2.1. Industria de Productos de Limpieza

2.1.1. Antecedentes

Los productos de limpieza en la actualidad, se consumen en los hogares, hospitales, terminales de transporte, etc. Son de estructura sólida y líquido; y cumplen funciones diferentes, de acuerdo al tipo de actividad que requiera su uso. En algunos casos son abrasivos, ácidos, cáusticos, oxidantes, en fin. Existe un campo muy amplio en la producción de estos productos que se ha extendido a tal punto de generar una dependencia única e inevitable para los distintos usos que se les puede dar de acuerdo a la diferente necesidad que cada individuo lo requiera. La comercialización de los productos de limpieza en la actualidad, ya sean sólidos, líquidos o una mezcla de varios tipos de tensoactivos, mejoran sus características de funcionales debido a sus componentes aditivos, coadyuvantes, enzimas, etc. La cantidad de tensoactivo presente en un detergente corresponde de un 5 a un 20%, por lo tanto un detergente domestico con una concentración de 5g/l, generaría un 0,1% en masa de tensoactivo por cada litro de agua (Gavilán, 2009).

2.1.2. Desechos tóxicos

Los residuos que se generan por tensoactivos se subdividen en dos grandes grupos; el primero que son los tensoactivos aromáticos como los tensoactivos aniónicos (lineal alquilbenceno sulfonato) y el segundo los no aniónicos, cuyo objetivo principal de ambos es el ser usados como detergentes, emulsificantes,

adherentes, espumantes y dispersantes. Los detergentes usados poseen diversas sustancias químicas que pueden llegar a causar cáncer y cuyo aviso de manipulación no está correctamente fundamentada. Entre los componentes más peligrosos tenemos el Lauril sulfato de sodio, 1,4-dioxano, fosfatos, etc. Su incorrecta manipulación podría generar riesgos en la salud como inconvenientes respiratorios, cáncer, irritación en los ojos (Gi, 2012).

2.1.3 Consecuencias en el Medio Ambiente

El contenido de compuestos que contaminan a los medios que rodean a nuestro entorno, son dañinos debido al contenido de fosfatos, que en la actualidad se buscan reemplazar por compuestos de fácil biodegradación y de fácil asimilación, por bacterias que ayuden en el proceso de eliminación. El problema principal de los detergentes se fundamenta en el uso de aditivos compuestos de blanqueadores, perfumes, bactericidas, además de agentes espumantes, la cual es abundante en presencia de proteínas y sales de calcio, que a su vez pueden contener virus y también cierto contenido de bacterias que alteran al ecosistema (Rusina, 2011).

Los reactivos contenidos en la matriz de agua generan un desbalance acuático si se mezclara en un ambiente con vida marina, provocando alteraciones en el hábitad y un malestar al medio que lo rodea. Debido a las altas cargas de tensoactivos, aceites y grasas, que provocan un alto contenido de concentración de DBO, DQO, Zinc y otros componentes; las normas medioambientales buscan regular las descargas que generan las industrias, para de esta manera asegurar que el post uso de las aguas de descarga sean de fácil acceso los diferentes usos que se generen (Cuyo, 2009).

2.2. Las Aguas Residuales

Como breve introducción el agua ha permanecido en el planeta tierra por un lapso mayor a 3000 millones de años, es un compuesto cuya estructura molecular está conformada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, como no contiene ni un hidrocarburo no puede ser considerada una molécula orgánica, pero el agua si es una molécula indispensable, primordial para la vida de la gran mayoría de los organismos presentes en el planeta tierra, a tal punto que es el componente principal, constituyendo del 60 al 90 % de la masa de dichos seres vivos, por

ejemplo el agua está presente aproximadamente en un 70 % en el cuerpo humano, 98 % en las algas y un 99.5 % en las medusas. El agua forma parte del grupo de las llamadas biomoléculas inorgánicas, ya que es una molécula primordial para la vida, que forma parte de los organismos vivos pero que no contienen hidrocarburos en su composición molecular (Arboleda J, 2000).

El agua es la única sustancia que está presente en los tres estados dentro de la naturaleza: sólido, líquido y gaseoso, además una de sus propiedades más sorprendentes es su gran polaridad ya que es una molécula fuertemente dipolar, dándole una gran capacidad para disolver sustancias inorgánicas e incluso orgánicas como alcoholes, éteres, ácidos carboxílicos, aminas, cetonas, aldehídos, amidas, etc. (Daub G. W & Seese W. S, 2005). Pero en consecuencia a su gran capacidad de solvencia el agua también puede adherir sustancias indeseables y peligrosas como por ejemplo ciertos metales pesados y sustancias tóxicas, además puede transportar otros tipos de sustancias no miscibles que forman emulsiones como los aceites, sólidos y materia flotante. El agua también constituye un ambiente de proliferación de varios organismos patógenos como bacterias, virus, protozoos, hongos, entre otros, generando un riesgo para la salud humana y de animales si no se la trata de una manera prudente (Bracho M.G, 2012).

El término “agua residual” se emplea para referirse al tipo de agua cuya composición está basada en una variedad de residuos líquidos y sólidos, dichos residuos se generan debido a diversos usos en ciertas actividades como: domésticas, industriales, agrícolas, ganaderas, comerciales, etc. Debido al tipo de formación de las aguas residuales, estas usualmente no pueden ser reutilizadas en los mismos procesos que las generaron, motivo por el cual dichas aguas residuales deben ser vertidas al sistema de alcantarillado municipal o en algún cuerpo receptor de agua sin un tratamiento previo, provocando una posible alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos o hasta afectar a la salud humana., motivo por el cual es un factor clave el tratamiento de estas aguas residuales (Arce A. L & Calderón C. G, 2015).

Usualmente estas aguas residuales dependiendo de su origen contienen un gran número de contaminantes, afectando la calidad del agua. Entre los principales

contaminantes presentes en el agua tenemos: residuos orgánicos, compuestos químicos inorgánicos, sustancias orgánicas, sedimentos y material en suspensión, compuestos radioactivos y microorganismos patógenos. El mayor objetivo de los sistemas de tratamientos de aguas residuales es la reducción de la concentración de los contaminantes antes mencionados para que no causen una afectación negativa en los cuerpos hídricos en donde finalmente se depositaran dichos efluentes (Repetto G, 1991).

2.2.1. Caracterización de las Agua Residuales

En este enfoque de las aguas residuales se analizan los parámetros más importantes, para así escoger el tipo de tratamiento idóneo para dichas aguas residuales, así como también para la gestión técnica de la calidad ambiental.

Las aguas residuales según su origen pueden presentar diferentes características, las cuales pueden ser físicas, químicas y biológicas (Escamirosa M. L, 2008).

2.2.1.1. Características Físicas

Estas se refieren por lo común a parámetros indirectos de compuestos químicos presentes en las aguas residuales, los cuales pueden llegar a ser tóxicos. Dentro de esta clase de características se hallan aquellas relacionadas con la estética del agua, cuya importancia radica en que esta deba agradarle a los consumidores y no provocar desconfianza ni perjuicios en sus instalaciones o bienes (Cortina D. C & Marques O. R, 2008). Las características físicas más relevantes presentes en las aguas residuales son: temperatura, color, turbidez, olor, conductividad, sólidos totales y radioactividad (Valencia. A. E, 2013).

➤ Temperatura

Es un parámetro muy importante que se debe tomar en cuenta, ya que tiene una influencia directa sobre el desenvolvimiento de la existencia acuática, como también sobre las reacciones químicas y las velocidades de reacción. Por ejemplo, la molécula de oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría, así que al aumentar la temperatura del agua se genera una disminución de la solubilidad del oxígeno y además se aumenta la velocidad de reacción, la suma de estos factores provoca una disminución considerable de la concentración del oxígeno disuelto en un cuerpo de agua (Alvarado Z. D & Cárdenas C. C, 2015).

Estas consecuencias se maximizan cuando se expulsa grandes cantidades de agua caliente a cuerpos receptores de aguas naturales, esa variación drástica de la temperatura puede generar como consecuencia un alto porcentaje en la mortalidad de la vida acuática.

Este tipo de afectación tiene lugar en industrias que requieren de grandes cantidades de agua en procesos de enfriamiento, como es el caso de centrales termoeléctricas y nucleares (Echarri L, 2007).

Tabla 2.1. Solubilidad del oxígeno en función de la temperatura.

Temperatura (°C)	Oxígeno Disuelto (mg/L)
10	11.3
20	9.2
30	7.6

Fuente: Arce A. L & Calderón C. G, 2015.

➤ **Sólidos Totales**

Según conceptos de química analítica, la cantidad de sólidos totales presentes en un agua residual se presenta como toda la materia que queda como residuo luego de una evaporación a una temperatura entre 103 a 105 °C (Osorio R. F & Torres R. J, 2011). Los sólidos totales por lo general se clasifican según su tamaño en sólidos suspendidos y sólidos filtrables. Además también se pueden clasificar según su composición química, estos pueden ser inorgánicos u orgánicos (Saavedra C. B, 2017).

Físicamente, un sólido en suspensión es aquel que puede atraparse en un filtro cuyo diámetro nominal sea de 1.2 micra. El origen de dichos sólidos en suspensión es muy diverso, por lo general todos los usos que se le dan al agua aportan con sólidos suspendidos al agua residual, estos usos pueden ser domésticos, pecuarios, agrícolas e industriales (Arce A. L & Calderón C. G, 2015).

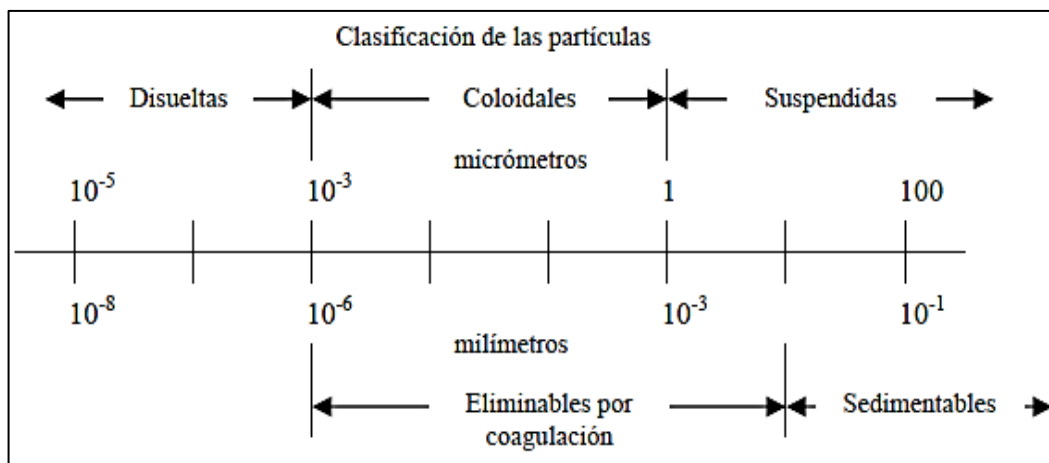


Figura 2.1. Clasificación de las Partículas Sólidas Según su Diámetro.

Fuente: Cortina D. C. & Marques O. R, 2008.

En cambio los sólidos filtrables, están constituidos de sólidos coloidales y disueltos. El material coloidal está formada por partículas con un diámetro aproximado de 0.001 a 1 micra (Santos N. M, 2015). Finalmente los sólidos disueltos están conformados de moléculas orgánicas, inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua (Sperling M. V, 2007).

➤ **Turbidez**

La turbidez o turbiedad es la medida de la transmisión de la luz a través del agua, es un parámetro utilizado para indicar la calidad de los efluentes de aguas residuales con respecto a las sustancias en suspensión. La turbidez en las aguas residuales es debida a la presencia de sólidos en suspensión y coloidales, estas pueden ser partículas de arcilla y limo, en efluentes naturales, o contener desechos industriales y numerosos microorganismos en efluentes industriales (Lara V. L, 2011).

Si la turbidez del agua es alta, existirá una menor penetración de los rayos solares en el agua, disminuyendo la producción de algas, ya que estas no obtendrá la luz solar necesaria para el proceso de fotosíntesis, como resultado también se disminuye la cantidad de oxígeno generados por las plantas acuáticas y por ende la concentración de oxígeno disuelto decrece en dicho cuerpo receptor de agua (Franson M. A, 1992).

➤ Color

El color de un agua residual por lo general es ocasionado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. Existen dos formas de color, uno denominado color aparente, el cual es causado por los sólidos en suspensión que están presentes en el agua, y el otro llamado color verdadero, causado por las sustancias disueltas y coloidales, dicho color verdadero se obtiene sobre una muestra filtrada. El color de una muestra de agua se encuentra mediante una comparación entre el color de dicha muestra con el color generado por cierta cantidad de soluciones de diferentes concentraciones de cloroplatino de potasio. Una unidad de color corresponde al color producido por 1 mg/ L de platinato (Lara V. L, 2011).

El color sirve como un indicativo del tiempo de una agua residual, por lo general una agua residual reciente tiene una coloración gris; sin embargo a medida que pasa el tiempo las sustancias orgánicas se descomponen, consumiendo oxígeno y provocando que la concentración de oxígeno disuelto disminuya cambiando la coloración a un tono más oscuro. Hay cifras cualitativas para la estimación de la condición general de un agua residual, en la siguiente tabla 2.2 se describen dichos valores (Alvarado Z. D & Cárdenas C. C, 2015).

Tabla 2.2. Condición General del Agua Residual.

Color	Descripción
Café Claro	Aguas residuales que llevan 6 horas después de la descarga.
Gris Claro	Aguas residuales que han sufrido cierto grado de descomposición o que han permanecido poco tiempo en los sistemas de recolección.
Gris Oscuro / Negro	Agua residuales que han sufrido un alto grado de descomposición bajo condiciones anaeróbicas, son denominadas aguas sépticas.

Fuente: Cristes R & Tchobanoglous G, 2000.

➤ Olor

El olor de las aguas residuales es debido normalmente a los gases producidos en el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor algo desagradable, pero es más tolerable que el olor de un agua residual séptica. El olor característico del agua residual séptica es de huevo

podrido, debido al sulfuro de hidrógeno producido por los microorganismos anaeróbicos que reducen los sulfatos a sulfitos (Alvarado Z. D & Cárdenas C. C, 2015).

Tabla 2.3. Tipos de Olores Asociados con Aguas Residuales.

Compuestos Olorosos	Olor Característico
Amoniaco	Amoniacal
Crotilmercaptano	Zorrillo
Dimetilsulfuro	Vegetales Descompuestos
Etilmercaptano	Coles en Descomposición
Sulfuro de Hidrogeno	Huevo Podrido
Metilmercaptano	Coles Descompuestas
Eskatol	Materia Fecal
Tiocresol	Zorrillo, Rancio

Fuente: Yaulema B. A, 2015.

➤ Conductividad

La conductividad indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través de las aguas residuales. Sus unidades de medida son microsiemens por centímetro [$\mu\text{S}/\text{cm}$] en el Sistema Internacional y micromhos por centímetro [mmho/cm] en el sistema americano. Como ya se sabe el agua pura es mala conductora de la corriente eléctrica, por lo tanto valores elevados de conductividad sirven para indicar la presencia de impurezas, como sales disueltas en las aguas residuales, estos valores de conductividad por lo general están en un rango de 1000 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aguas residuales domésticas (Arango R. A & Garcés G. L, 2010).

La medida de la conductividad sirve de ayuda para detectar descargas procedentes de algunas industrias, también brinda información para poder usar el agua residual tratada para riego, ya que algunas plantas son sensibles a un alto contenido de sales disueltas, y la exposición de terrenos a riegos prolongados con aguas cuyos valores altos de conductividad pueden ocasionar infertilidad (Saavedra C. B, 2017).

2.2.1.2. Características Químicas

Un agua residual se caracteriza por poseer compuestos inorgánicos y orgánicos que provienen mayoritariamente de los desechos humanos y de la fabricación de alimentos. Además se incluye biocidas y desinfectantes, los cuales se originan en las aguas de escorrentía en zonas de cultivo (Alvarado Z. D & Cárdenas C. C, 2015). Con respecto a los efluentes industriales, a más de contener sustancias orgánicas e inorgánicas como las aguas residuales domésticas, en ocasiones pueden contener otros compuestos químicos originados de la propia actividad industrial. En estas circunstancias es primordial caracterizar los efluentes de cada industria en una investigación especial, para así poder brindar el tratamiento más idóneo para dichos desechos (Lara V. L, 2011).

Las características químicas de un agua residual se analizan en función de dos grandes grupos: compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos (Félix A. D & Rikeros G. D, 2015).

➤ Materia Orgánica

Las sustancias orgánicas más comunes presentes en las aguas residuales están constituidas molecularmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, y en algunos casos nitrógeno, también se encuentran en cantidades menores azufre, fósforo, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, entre otros (Metcalf & Eddy I, 2003). Los principales grupos de sustancias orgánicas que están contenidas en las aguas residuales son las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%), grasas y aceites (10%) (Cortina D. C & Marques O. R, 2008).

Otros compuestos orgánicos que en la actualidad se le están mostrando interés van desde estructuras moleculares sencillas hasta extremadamente complejas, como son los fenoles, plaguicidas, tensoactivos y otros asociados a metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio (Cortina D. C & Marques O. R, 2008).

Existen una serie de parámetros que son de gran interés en el tratamiento de las aguas residuales, ya que nos facilitan la detección de la materia orgánica de forma indirecta. Algunos de los principales métodos son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Oxígeno Disuelto (OD) y Carbono Orgánico Total (COT) (Rodier J, 1989).

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto (OD) es un gas de baja solubilidad que es indispensable para la vida acuática aeróbica. La determinación de la concentración del oxígeno disuelto es el fundamento del cálculo de la DBO y de la valoración de las condiciones aeróbicas de una muestra de agua (Santos. N. M, 2015).

El suministro de oxígeno y las concentraciones del oxígeno disuelto en tratamientos biológicos para aguas residuales son parámetros de la mayor importancia en el diseño, operación y evaluación para dichos tratamientos. La concentración del Oxígeno Disuelto, así como la de otros gases viene afectada por determinados factores, como son (Saavedra C. B, 2017):

- Solubilidad
- Presión parcial atmosférica
- Temperatura
- Sólidos Suspendidos

Demanda Biológica de Oxígeno

Es un valor indirecto del contenido de materia orgánica biodegradable, expresada mediante la cantidad de oxígeno requerida para oxidar biológicamente la materia orgánica en una muestra de agua, a una temperatura estandarizada de 20 °C (Lara V. L, 2011). Es uno de los métodos más utilizados para determinar el nivel de contaminación en las aguas superficiales y aguas residuales. Por lo general existen dos formas para determinar la DBO de una muestra de agua, la DBO₅ que es la más utilizada, tiene una duración de incubación de cinco días, mientras que si la medida es tomada luego de que la muestra se estabilice (biodegradación completa), el valor obtenido se denomina DBO_u (DBO última), que por lo general ocurre después de 20 días de incubación (Mara D, 2003).

Los valores de la DBO son muy importante para el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales porque permiten encontrar valores aproximados de oxígeno que se requiere para degradar biológicamente la materia orgánica, con eso se puede determinar el tamaño de las instalaciones, de equipos y calcular la eficiencia de algunos procesos de tratamiento de aguas residuales (Saavedra C. B, 2017).

Tabla 2.4. Volumen de Muestra según la concentración esperada de DBO.

Volumen en 300 ml (ml)	Concentraciones de DBO (mg/L)
0.02	30000 – 105000
0.05	12000 – 42000
0.10	6000 – 21000
0.20	2000 – 10500
0.50	1200 – 4200
1.00	600 – 2100
2.00	300 – 1050
5.00	120 – 420
10.00	60 – 210
20.00	30 – 105
50.00	12 – 42
100.00	6 – 21

Fuente: Cortina D. C. & Marques O. R, 2008.

Demanda Química de Oxígeno

De igual manera que la DBO, La DQO determina la cantidad de materia orgánica degradable, pero la diferencia es que esta degradación es mediante una reacción química. El agente oxidante normalmente utilizado para esta reacción es el permanganato de potasio (KMnO_4), para muestras de agua potable o para consumo humano y el Dicromato de Potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), para muestras de aguas residuales (Vásquez D, 2003).

De acuerdo a la bibliografía las concentraciones para la DQO pueden ser mayores de 800 mg/l para aguas residuales fuertes, 430 mg/l para aguas residuales medias y menores de 250 mg/l para aguas residuales débiles (Alvarado Z. D & Cárdenas C. C, 2015).

Relación Entre DBO_5 y DQO

Es posible establecer relaciones entre la DBO_5 y DQO para distintos tipos de aguas residuales, puesto que por la acción de medios químicos la oxidación de la materia orgánica es más completa, el valor de la DQO es mayor que el de la DBO_5 , por ejemplo en aguas residuales urbanas por lo general el valor de la DQO es el doble al de la DBO_5 (Arango R. A & Garcés G. L, 2010).

La relación DBO_5/DQO sirve para indicar la proporción de materia orgánica biodegradable sobre la materia orgánica total. Si el valor de este cociente es de

menor magnitud significa que es más complicado la biodegradación de la materia orgánica de dicha muestra de agua (Metcalf & Eddy. I, 2003).

En la tabla a continuación se presenta la capacidad de biodegradación de la materia orgánica presente en una muestra de agua residual.

Tabla 2.5. Biodegradación del Agua Residual.

DBO ₅ /DQO	Biodegradación
< 0,2	Poco Biodegradable
0,2 – 0,4	Biodegradable
> 0,4	Muy Biodegradable

Fuente: Alvarado Z. D & Cárdenas C. C, 2015.

Carbono Orgánico Total

Se determina mediante la introducción de una cantidad de una muestra de agua conocida en un horno a altas temperaturas. El carbono orgánico se oxida formando dióxido de carbono (CO₂), en presencia de un catalizador, y se cuantifica mediante un espectrofotometría de infrarrojos. Pero como no se oxidan todos los componentes orgánicos presentes, los valores del COT dan solo una estimación del carbono orgánico total, ya que este en un valor inferior al real (Espigares G. M & Pérez J. A, 2011).

El valor del carbono orgánico total de un agua residual puede ser utilizado para medir el nivel de producción en el agua y además para poder relacionar este parámetro con el DBO y el DQO. Por otro lado el ensayo para determinar el valor del COT tarda entre 5 a 10 minutos, lo que es una ventaja si lo comparamos con el tiempo del ensayo de la DBO₅ (Lara V. L, 2011).

Tabla 2.6. Comparación entre la DBO, DQO y COT de un Agua Residual.

Etapas de un Agua Residual	DBO/DQO	DBO/COT
No tratada	0,3 – 0,8	1,2 – 2,0
Después de Sedimentación Primaria	0,4 – 0,6	0,8 – 1,2
Efluente Final	0,1 – 0,3	0,2 – 0,5

Fuente: Cristes. R & Tchobanoglous. G, 2000

➤ **Materia Inorgánica**

Son diversos los compuestos inorgánicos presentes en un agua residual, los cuales son de suma importancia a la hora de la determinación y control de la calidad del agua. El principal objetivo de su determinación no es solo para su remoción, sino también para conocer su impacto en el tratamiento y la capacidad de reutilización de las aguas residuales después de pasar por un sistema de tratamiento (Alvarado Z. D & Cárdenas C. C, 2015). La principal materia inorgánica que se encuentra en el agua después de su uso está constituida por: sales, nutrientes, constituyentes no metálicos, metales, gases y todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables (Silva B. J, 2004).

Tabla 2.7. Relación de algunos compuestos inorgánicos y el agua residual.

Elemento	Relación con el Agua Residual
Hidrógeno	El intervalo de concentración idónea para la existencia de la mayoría de la vida biológica es muy estrecho y crítico. El agua residual con una concentración adversa de ion hidrógeno es difícil de tratar por medios biológicos.
Cloruros	Proceden de la disolución de rocas y suelos que los contienen y que están en contacto con el agua, intrusión del agua salada (zonas costeras), agua residual doméstica, agrícola e industrial.
Nitrógeno	Nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Básico para la síntesis de proteínas.
Fósforo	Incrementa la tendencia de proliferación de algas en un cuerpo receptor de agua. Uno de los principales causantes, al igual que el nitrógeno, al problema de la eutrofización.
Azufre	Requerido en las síntesis de las proteínas y liberado en su degradación.

Fuente: Silva B. J, 2004

Además estos compuestos inorgánicos pueden afectar el valor de ciertos parámetros que sirven para la evaluación de la calidad de una muestra de agua, estos parámetros pueden ser: pH, Dureza, Alcalinidad, Nutrientes, Tensoactivos, etc.

pH

La concentración del ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para la calidad de aguas naturales como residuales (Yaulema B. A, 2015).

Un aspecto importante del pH es la sensibilidad que tienen los organismos vivos a la variación de la concentración del ion hidrógeno. Aguas residuales muy alcalinas son difíciles de tratar por medio de sistemas biológicos, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. El valor del pH adecuado para diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales y para la existencia de la mayoría de la vida biológica puede ser muy restrictivo, sin embargo, normalmente ese intervalo está entre 6,5 a 9,5 (Saavedra C. B, 2017).

Nutrientes

Son sustancias químicas utilizadas como alimento para el desarrollo de diferentes microorganismos. El nombre “nutrientes” se utiliza por lo general para indicar a las distintas formas de nitrógeno y fósforo, que son las que requieren en mayores cantidades. El agua residual urbana contiene concentraciones bastantes altas tanto de nitrógeno como de fósforo, por lo cual, se permite un tratamiento biológico para dichas aguas, pero en consecuencia da lugar a problemas al momento de las descargas de estas aguas tratadas a cuerpos receptores, ya que estas aguas teniendo cantidades considerables de nutrientes pueden provocar un problema de eutrofización (Arango R. A & Garcés G. L, 2010).

2.2.1.3. Características Biológicas

Las aguas residuales según su procedencia y composición, pueden contener una gran cantidad de organismos, los cuales son afectados directamente a cambios de temperaturas y de pH (Espigares G. M & Pérez J. A, 2011). Los principales grupos de organismos presentes en muestras de aguas, tanto superficiales como residuales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. Tal y como se muestra en la tabla 2.8 la mayoría de los organismos pertenecen al grupo de las eubacterias (Dávalos H. M & Chiriboga A. C, 2010).

Tabla 2.8. Clasificación de los Microorganismos.

Grupo	Estructura Celular	Características	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota	Multicelular, con gran diferenciación de las células y tejidos.	Plantas (plantas de semillas, musgos y helechos), Animales (vertebrados e invertebrados).
		Unicelular, con escasa o mala diferenciación de tejidos	Protistas (algas, hongos, protozoos).
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva	Metanógenos, halófilos, termacidófilos.

Fuente: Dávalos H. M & Chiriboga A. C, 2010.

En cuanto a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, más específicamente a tratamientos biológicos, como reactores biológicos y lagunas de oxidación se encuentran caracterizadas por dos grupos de microorganismos, los cuales son: las bacterias y las algas:

➤ **Bacterias**

Las bacterias son protistas unicelulares. Consumen alimentos solubles, por lo que se encuentran en donde estén estos y exista humedad. Pueden clasificarse de acuerdo a su metabolismo en heterótrofas y autótrofas. Las autótrofas más comunes son quimiosintéticas, y solo unas pocas son capaces de realizar la fotosíntesis. En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterotróficas constituyen, por lo general, el grupo más importante, esto es debido a la necesidad de estas bacterias de compuestos orgánicos para su desarrollo. Las bacterias a su vez pueden ser aeróbicas, anaeróbicas o facultativas, dependiendo de su necesidad de oxígeno (Osorio R. F & Torres R. J, 2011).

Las bacterias aeróbicas son aquellas que necesitan oxígeno para su alimentación y respiración. El oxígeno que estas utilizan es el oxígeno molecular disuelto en el agua, además la descomposición y biodegradación que provocan sobre la materia orgánica son procesos netamente aeróbicos, los cuales están caracterizados por la ausencia de malos olores (Silva B. J, 2004).

Las bacterias anaeróbicas son las que pueden sustituir en un medio en donde las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua son casi nulas, para su desarrollo consumen el oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos. Los procesos que estas realizan son anaeróbicos y están caracterizados por la presencia de malos olores (Dávalos H. M & Chiriboga A. C, 2010).

Las bacterias Facultativas son aquellas bacterias que pueden llegar a ser aeróbicas y anaeróbicas, es decir, pueden adaptarse a aguas sin oxígeno disuelto y a su vez a aguas con oxígeno disuelto (Saavedra C. B, 2017).

Las bacterias presentes en las aguas residuales pueden ser de origen fecal, o implicadas en procesos de biodegradación y estabilización de la materia orgánica, tanto en la naturaleza como en plantas de tratamiento. En las aguas residuales crudas predominan bacterias pertenecientes a los siguientes grupos: *Salmonella*, *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Proteus*, *Aeromonas*, *Clostridium*, *Bifidobacterium*, *Flavohacterium*, *Zooglea*, *Achromobacter*, *Nocardia*, *Alcaligenes*, *Nitrosomonas*, *Mycobacterium*, etc. (Espigares G. M & Pérez J. A, 2011).

Además las bacterias que pertenecen al grupo coliforme y los estreptococos fecales son las más utilizadas como parámetros indicadores de contaminación bacteriológica del agua (Cortina D. C. & Marques O. R, 2008).

Tabla 2.9. Organismos Indicadores para la Determinación de la Calidad del Agua.

Usos del Agua	Organismo Indicador
Agua Potable	- Coliforme Totales
Actividades Lúdicas en Agua Dulce	- Coliformes Fecales <i>E. Coli</i> - Enterococos
Actividades Lúdicas en Agua Salada	- Coliforme Totales - Enterococos - Coliformes Fecales
Zonas de Crecimiento de Moluscos	- Coliforme Totales - Coliformes Fecales
Agua Tratada para Riego	- Coliforme Totales
Desinfección de Efluentes de Aguas Residuales	- Coliforme Totales - Coliformes Fecales

Fuente: Dávalos H. M & Chiriboga A. C, 2010.

➤ **Algas**

Las algas pueden ser protistas unicelulares o multicelulares, pueden ser autótrofas y fotosintéticas. En los estanques de oxidación, las algas juegan un papel importante porque producen oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis (Osorio R. F & Torres R. J, 2011). En el medio acuático como consecuencia de las reacciones de fotosíntesis y de respiración, el proceso metabólico de las algas causa una variación en la concentración del oxígeno disuelto en el agua. Para que una laguna de oxidación aeróbica o facultativa opere adecuadamente, se requiere de las algas, ya que estas son la fuente de oxígeno para las bacterias aeróbicas, y luego estas mismas bacterias al llegar al final de su vida sirven como alimento para las algas. Esta relación simbiótica entre las algas y las bacterias, es el mecanismo mediante el cual las aguas residuales pueden ser tratadas en lagunas de oxidación (Yaulema B. A, 2015).

Las clases más relevantes de algas de agua son: algas verdes (*Chlorophyta*), algas verdes móviles (*Volvocales Euglenophyta*), Algas verdeamarillas (*Chrysophyta*) y verdeazules (*Cyanophyta*) (Silva B. J, 2004).

2.2.2. Tipos de Aguas Residuales

Existen diferentes maneras de clasificar las aguas residuales, una de estas, y la más empleada por su simplicidad, es la que identifica las aguas residuales según su procedencia, ya que de eso va a depender las características de la matriz de agua. Estas pueden ser: aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales (Silva B. J, 2004).

2.2.2.1. Aguas Residuales Urbanas

Las aguas residuales Urbanas son alimentadas por los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos. Las aguas residuales urbanas están constituidas por un elevado porcentaje de agua, alrededor del 99 % y por 1 % de sólidos en suspensión, de estos sólidos en suspensión el 70 % son de origen orgánico y el 30 % son inorgánicos como arenas, sales y metales. La composición de las aguas residuales urbanas es en función del uso que se le dé al agua, este uso depende tanto de las características

sociales y económicas de la población, así como del clima, la cultura y del uso del suelo, entre otros (Muñoz C.A, 2008).

A modo de referencia en las tablas 2.10 y 2.11 se presentan una composición típica de las aguas residuales urbanas sin haber pasado por algún tratamiento previo.

Tabla 2.10. Composición Físicoquímica Típica de las Aguas Residuales Urbanas.

Parámetro	Concentración (mg/L, excepto pH)		
	Rango		Típico
pH	6.7	8.0	7.0
Sólidos Totales	700	1350	1100
Suspendidos	200	450	350
Fijos	40	100	80
Volátiles	165	350	320
Disueltos	500	900	700
Fijos	300	550	400
Volátiles	200	350	300
Sedimentales	10	20	15
DBO ₅	250	400	300
DQO	450	800	600
DBOU	350	600	450
COT	80	290	250
Nitrógeno Total	35	60	45
Nitrógeno Orgánico	15	25	20
Nitrógeno Amoniacal	20	35	25
Nitritos	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Nitratos	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Fósforo Total	4	15	7
Fósforo Orgánico	1	6	2
Fósforo Inorgánico	3	9	5
Cloruros	30	100	50
Alcalinidad	100	250	200
Metales Pesados	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Orgánicos Tóxicos	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Grasa	50	150	120

Fuente: Saavedra C. B, 2017.

Tabla 2.11. Concentraciones de Microorganismos Presentes en Aguas Residuales.

Microorganismos	Carga Per Cápita (org/hab.d)	Concentración (org/100ml)
Coliformes Totales	$10^{10} - 10^{13}$	$10^7 - 10^{10}$
Coliforme Fecales	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
Escherichia Coli	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
Estreptococos Fecales	$10^7 - 10^{10}$	$10^4 - 10^7$
Quistes de Protozoos	$< 10^7$	$< 10^4$
Huevos de Helmintos	$10^3 - 10^6$	$10^0 - 10^3$
Virus	$10^5 - 10^7$	$10^2 - 10^4$

Fuente: Saavedra C. B, 2017.

A su vez los aportes que generan las aguas residuales urbanas se pueden clasificar de dos formas: las aguas negras que son las aguas de lavado doméstico y fecal, y aguas blancas o aguas de lluvia y lixiviados (Santos N. M, 2015).

➤ **Aguas Blancas**

Las aguas blancas están constituidas principalmente por las aguas pluviales, que son las causantes de las grandes aportaciones intermitentes de caudales. Sin embargo, con el progresivo avance y desarrollo del sector urbanístico subterráneo (estacionamientos, centros comerciales, vías de comunicación deprimidas y subterráneas, galerías de servicios, etc.) las aguas de drenaje han ido cobrando una importancia significativa, especialmente por estar muy a menudo afectadas por la contaminación producida por las fugas en los sistemas de alcantarillado. Entre los componentes que afectan la composición de las aguas blancas tenemos: contaminación atmosférica (lluvia ácida), restos de la actividad humana (papeles, cartón, excrementos tanto de humanos como de animales, basuras, etc.), residuos de tráfico (aceites, grasas, hidrocarburos, componentes fenólicos y de plomo, etc.) y contaminación aportada por las aguas de drenaje (Muñoz C.A, 2008). Las características típicas de estas aguas blancas pueden ser evaluadas en función a la concentración de ciertos parámetros, como se observa en la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Característica Típica de las Aguas Residuales Blancas.

Parámetro	Concentración (mg/L)
DBO ₅	25
DQO	65
Sólidos Suspendidos	230
Sólidos Volátiles	40
Amonio	0.2
Nitratos	0.5
Nitritos	0.05
Nitrógeno Orgánico	1.4
Fósforo Total	1.15
Fósforo Soluble	0.46

Fuente: Sperling M. V, 2007.

➤ Aguas Negras

Las aguas negras, fecales o domésticas, son las que se generan en los hogares dentro de la Urbe. Estas aguas son el producto de la actividad humana, por ejemplo para aseo personal, servicios higiénicos, preparación de alimentos, limpieza, etcétera, por tal motivo las aguas negras al terminar en el sistema de alcantarillado presentan una serie de compuestos tales como: proteínas, ácidos acéticos y láctico, bases jabonosas y almidones, aceites, grasas, minerales, hidrocarburos, gases (sulfhídrico, metano, etc.), sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, etc (Muñoz C.A, 2008). En la tabla 2.13 se muestra las cargas contaminantes típicas de un agua residual negra.

Tabla 2.13. Contaminación de las Aguas Residuales Negras.

Parámetro	Contaminación (mg/L, excepto pH)		
	Fuerte	Media	Ligera
pH	3.9	6.9	6.9
Sólidos Totales	1000	500	200
Fijos	300	150	80
Volátiles	700	350	120
Sólidos Suspendidos	500	300	100
Fijos	100	50	30
Volátiles	400	250	70
Sólidos Sedimentales	250	180	40

Parámetro	Contaminación (mg/L, excepto pH)		
	Fuerte	Media	Ligera
Fijos	150	108	24
Volátiles	100	72	16
Sólidos Disueltos	500	200	100
Fijos	200	100	50
Volátiles	300	100	50
DBO ₅	300	200	100
DQO	800	450	160
Oxígeno Disuelto	0	0.1	0.2
COT	15	8	4
Nitrógeno Total	86	50	25
Nitrógeno Orgánico	35	20	10
Nitrógeno Amoniacal	50	30	15
Nitritos	0.10	0.05	0.00
Nitratos	0.40	0.20	0.10
Fósforo Total	17	7	2
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad	200	100	50
Grasas	40	20	0

Fuente: Sperling M. V, 2007.

2.2.2.2. Aguas Residuales Industriales

Por lo general, el agua residual industrial debe separarse de la de origen urbano y tratarse en otras instalaciones, pero en ocasiones se produce una mezcla en el alcantarillado y termina incorporándose a los sistemas de tratamientos municipales de las ciudades, los cuales por lo general son lagunas de oxidación. Esto ocurre especialmente con industrias de pequeño tamaño (cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción o manipulación utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de procesos y aguas de refrigeración), situadas en el sector urbanístico de las ciudades y que no cuentan con sistemas propios de tratamiento para sus aguas residuales (Cortina D. C. & Marques O. R, 2008).

Los vertidos generados por estas industrias son, en general, muy perjudiciales para una óptima operación de las plantas depuradoras por lagunaje. Estos vertidos pueden estar constituidos por compuestos tóxicos que impiden el crecimiento de

los organismos responsables de la depuración. Por tanto, estos vertidos nunca deben incorporarse a la red de alcantarillado sin un tratamiento previo. Cuando no existe un tratamiento previo, se debe evitar su llegada a los sistemas de tratamientos municipales, bien mediante una red separativa que recoja los vertidos industriales sin mezclarlos con los urbanos (Mayo E. F, 2010).

Los vertidos industriales pueden ser del tipo continuos o discontinuos y se pueden clasificar de acuerdo a los contaminantes que arrastren en los procesos de producción según el tipo de industria, según lo observado en la tabla 2.14.

Tabla 2.14. Tipos de Vertidos Industriales.

Tipo de Vertido	Tipo de Industria	
Orgánico	- Papeleras	- Azucareras
	- Mataderos	- Curtidos
	- Conservas	- Fermentación
	- Bebidas	- Lavanderías
	- Preparación de productos alimenticios	
Orgánico e Inorgánico	- Coquerías	- Petroquímicas
	- Textiles	- Refinerías
	- Fabricación de productos químicos	
Materiales en Suspensión	- Lavaderos de mineral y carbón	
	- Corte y pulido de minerales	
	Laminación en caliente y colada continua	
Inorgánico	- Limpieza y recubrimiento de metales	
	- Explotaciones mineras y salinas	
	- Fabricación de productos químicos	
Refrigeración	- Centrales térmicas	- Centrales nucleares

Fuente: Dávalos H. M & Chiriboga A. C, 2010.

A manera de ejemplo se presentan en la tabla 2.15 las concentraciones características (en mg/L) de ciertos parámetros que se estiman en las aguas residuales de cinco tipos de industrias.

Tabla 2.15. Valores Característicos de Descargas Industriales.

Parámetro	Industria					
	Alimenticia	Textil	Curtido		Química	Acabado de metales
			cromo	taninos		
pH	4 - 7	1 -12	5 - 8	11	3,6 - 7,9	5 - 10
Temp (°C)	17	30 - 32	22	22	2,8 - 31,5	-
ST	1000	40	65	-	1028 - 21249	-
SST	-	111 - 670	1034	833		-
S Sed	1009	0,9 - 1,9		118	6,3 - 12,9	-
DBO	3000	500 - 2300	1452	3573	207 - 562	-
DQO	5000	715 - 13905	1558	4167	192 – 1615	-
N	-	6 – 73	29	53	11 – 134	-
P	-	-	-	-	16 – 436	-
Cu	-	1,3 - 5	-	-	-	56
Fe	-	5,6	-	-	-	-
Cr ⁺³	-	0,3	-	-	-	-
Cr ⁺⁶	-	26	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	200
Zn	-	-	-	-	-	22

Fuente: Cortina D. C. & Marques O. R, 2008

2.3. Tratamiento de Aguas Residuales

Los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales ya sean domésticas o industriales, están compuestas de una serie de operaciones físicas, químicas y biológicas, que tiene como objetivo principal eliminar en lo mayor posible los contaminantes antes de un vertido externo, promoviendo a que los parámetros de los efluentes tratados se encuentren dentro de los rangos exigidos por las entidades legales pertinentes, para que luego puedan ser depositados y asimilados de manera natural por los cauces receptores de agua. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales por lo general se distinguen en dos líneas, la primera que es la línea de agua cuyo tratamiento o proceso se remite a eliminar contaminantes y la segunda que es la línea de lodos la cual es encargada de tratar la biomasa que se genera luego del proceso de tratamiento biológico de la línea de agua (Arce A. L & Calderón C. G, 2015).

2.3.1. Pretratamiento

De manera general la etapa de pretratamiento se encarga de modificar las dimensiones de partículas de gran tamaño presentes en el agua, aceites y grasas, ya sea esta residual industrial, residual doméstica, o de alguna otra matriz que sea objeto al tratamiento. Busca agilizar los procesos posteriores, reduciendo problemas operacionales a los distintos sistemas individuales como tanques, bombas, tuberías u otro componente de tratamiento. El pretratamiento separa del agua residual ya sea por métodos físicos como las operaciones unitarias, componentes por su naturaleza o por sus dimensiones (botellas, ramales, etc.), lo cual depende de los efluentes del agua residual, características del agua a tratar, el tratamiento posterior y de las instalaciones (Centa, Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas, 2012).

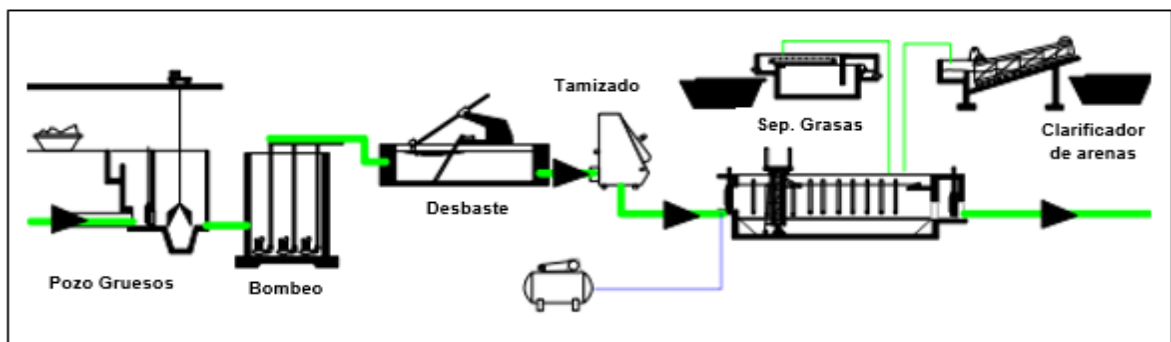


Figura 2.2. Sistema de Pretratamiento

Fuente: Suárez, 2008.

2.3.1.1. Separación de Sólidos Grandes

Cuando se tiene la presencia de sólidos de gran tamaño o una excesiva cantidad de arenas, se incluye al inicio del proceso un sistema de separación de sólidos grandes que está constituida por un pozo con forma de pirámide invertida, en la cual sus paredes constituidas por pendientes, concentran los sólidos y las arenas en el fondo, de manera que se los pueda extraer eficazmente una vez decantadas. Este sistema está conformado por vigas de acero con un espesor de entre 12 a 25 mm con una distribución paralela vertical separadas entre sí una distancia de entre 50 a 100 mm, ubicadas en la entrada de la planta impidiendo el paso de material grande como troncos u otro tipo de componente físico que obstruya el caudal de la planta de tratamiento. Generalmente la extracción de los residuos se los realiza

mediante cucharas anfibas o bivalvas que posteriormente suelen ser almacenados en contenedores, para ser transportados hacia vertederos (Orozco, 2005).



Figura 2.3. Reja Para Sólidos Gruesos

Fuente: Murcia, 2010.



Figura 2.4. Cuchara bivalva

Fuente: Márquez, 2016.

2.3.1.2. Desbaste

Es la operación que se utiliza para separar materia sólida del agua en el paso de ella, mediante una rejilla o criba. Una rejilla de desbaste puede ser diseñada por una plancha metálica, madera o concreto, con agujeros, o por barras o varillas de hierro o acero. Por el método de limpieza las rejillas son manuales o mecánicas, según las aberturas del diseño se las clasifica como rejillas finas o gruesas, donde las rejillas finas son aquellas que tiene una separación menor a 0,64 cm entre cada varilla o barra, mientras que las gruesas poseen una separación mayor a los 0,64 cm y mediante su inclinación se clasifican en verticales cuando poseen un ángulo de 90° respecto a la horizontal e inclinadas cuando su ángulo varía entre 60° y 80° respecto a la horizontal. El desbaste es utilizado posterior al pretratamiento de la separación de sólidos gruesos, para proteger de interferencia o taponamiento los diferentes componentes de un sistema. El uso de rejillas de desbaste va a depender del tipo de agua que vaya a ser objeto de tratamiento y de las características de los residuos. El diseño del canal de acceso hacia rejilla de desbaste preferiblemente, debe ser recto, horizontal y perpendicular a la rejilla para precautelar la acumulación de materia sólida antes y después, generando una distribución uniforme del afluente de agua (Cristes R & Tchobanoglous G, 2000).



Figura 2.5. Rejilla Manual

Fuente: Ortiz, 2011.



Figura 2.6. Rejilla Automática

Fuente: Goflo, 2015.

2.3.1.3. Tamizado

Conformado por una filtración que comprende un soporte perforado fino, utilizado para diversos campos de tratamiento de las aguas residuales. En la actualidad el uso general de tamices tiene aplicaciones en la remoción de sólidos finos y gruesos, hasta la remoción de sólidos suspendidos en descargas de tratamientos biológicos. Posterior a un pretratamiento de cribado son aconsejables para aguas con cantidades elevadas en sólidos flotantes, en suspensión o para concentraciones bajas en aceites y grasas. En función de los tamices manuales estáticos pueden ser macrotamizados o microtamizados, mientras que los mecánicos pueden ser de malla inclinada en forma de cuña con autolimpieza, de tambor rotatorio, de disco rotatorio, deslizante, de tornillo, etc. El uso de un tamiz va a depender de las características de la matriz de agua y de su posterior proceso (Hess, 2007).

Tabla 2.16. Tipos de Tamiz y su Tamaño de Orificio.

Tipo de tamizado	Tamaño del orificio, mm
Macrotamizado	$\geq 0,3$
Microtamizado	$\leq 0,1$
Malla inclinada con forma de cuña	0,25 – 3,2
Tambor rotatorio	0,25 – 3,2
Disco rotatorio	0,25

Fuente: Cristes R & Tchobanoglous G, 2000



Figura 2.7. Tamiz Rotatorio

Fuente: Ggsperu, 2010.



Figura 2.8. Tamiz Estático

Fuente: Texinox, 2015.

2.3.1.4. Desarenado

El desarenado tiene como principal objetivo retirar partículas pesadas de tamaño superior a 200 micras presentes en el agua, tales como arenas propiamente dichas, gravas, minerales y cualquier material pesado que sobrepase la velocidad de sedimentación de sólidos orgánicos en descomposición, presentes en una matriz. Teóricamente el desarenado se relaciona con la decantación, que es interpretada bajo las ecuaciones de Stokes (régimen laminar), de Newton (Régimen turbulento) y de Allen (régimen transitorio), en el cual, fundamentalmente se busca reducir daños en equipos mecánicos por abrasión, acumulación de arenas, gravas y tuberías aguas abajo, que frecuentemente afectan al mantenimiento y limpieza de digestores por estancamiento de sólidos sedimentables. Generalmente los desarenadores son ubicados después de una remoción de sólidos gruesos y antes de tanques de sedimentación primaria, pero la ubicación final será a conveniencia del tipo de agua a tratar, debido a los componentes diseñados dentro de un sistema y el enfoque que se desee cubrir. Entre los diferentes tipos de desarenadores se tienen los de flujo horizontal de tipo canal, rectangulares de flujo horizontal, cuadrados de flujo horizontal, aireados, de vórtice, entre otros (Metcalf & Eddy I, 2003).

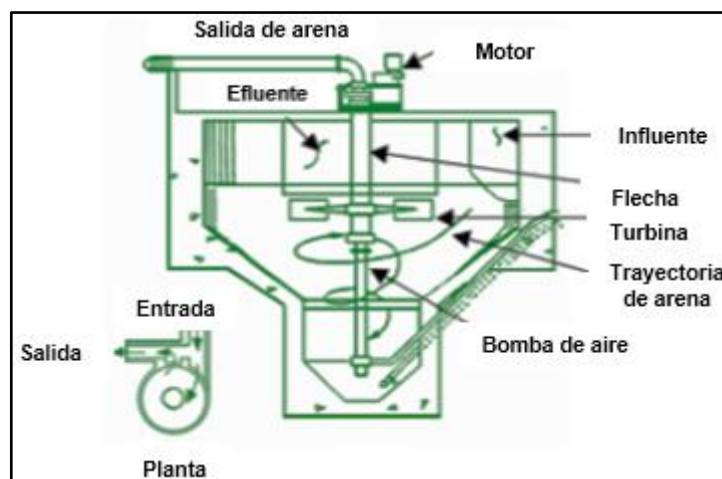


Figura 2.9. Desarenadores Tipo Vórtice: Unidad Pista

Fuente: Suárez, 2008

2.3.1.5. Separación de Aceites y Grasas

Los efluentes de aguas de proceso, ya sean residuales industriales o domésticas, generalmente contienen aceites y grasas que se encuentran suspendidas y se acumulan en las superficies, reduciendo la eficiencia de infiltración y ocasionando problemas graves debido a su presencia. Las concentraciones de aceites y grasas en las descargas de agua van a variar dependiendo de las diferentes matrices de agua, como por ejemplo, la concentración de los efluentes en patios de comida que varían desde 1000 hasta 2000 mg/L o más. En ocasiones su presencia genera inconvenientes en los diferentes componentes descentralizados de un sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que es recomendable disminuir a concentraciones (Association American Water Works, 2002).

Los problemas relacionados a la separación de aceites y grasas, se han ido agravando a lo largo del avance tecnológico en la producción de diversos productos como los de limpieza, de cocina (aceites, mantequillas, etc.) y otros componentes afines, por presencia de aceites solubles en agua a bajas temperaturas. Los sistemas diseñados para la desnatación, retienen las grasas por enfriamiento y flotación, mientras que los aceites por flotación.

Más allá de contar con distintos tipos de sistemas de trampas de aceites y grasas, son limitadas en principio por los bajos tiempos de retención de las diferentes unidades, ya que su diseño está en función de los caudales promedios y no en base a sus picos (Unatsabar, 2003).

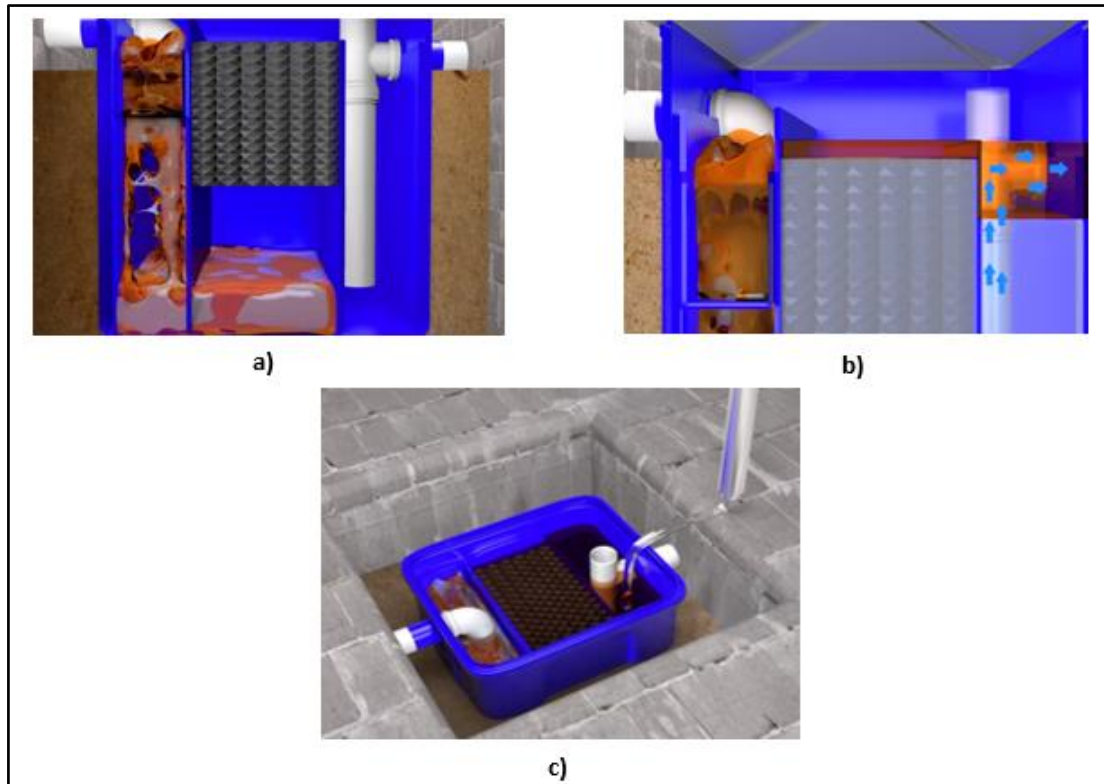


Figura 2.10. Separador de aceites y grasas: a) Efluente, b) Afluente c) Superior

Fuente: Fispar filtros, 2015.

2.3.2. Tratamiento Primario

Se encarga de eliminar los restos de sólidos que pudiesen haber pasado después del pretratamiento, por medios físicos debido a las partículas en suspensión; además de incluir tratamientos químicos como la coagulación que es la encargada de romper el estado coloidal de las partículas inmersas en el agua, formando flóculos, que por lo general son decantados y posteriormente separados del proceso (Espín, 2012).

2.3.2.1. Sedimentación

El tratamiento de sedimentación tiene como objetivo separar los residuos sedimentables, removiendo de un 50 a 70% de sólidos suspendidos y desde un 25 a 40% de DBO5. El rendimiento del proceso de sedimentación es principalmente en función del área de la sección horizontal, más que de la profundidad en el diseño, aunque cave recalcar que los únicos motivos para utilizar una razonable profundidad, es el uso de rascadores mecánicos para retirar los lodos sedimentados y para evitar el arrastre de partículas que se hayan depositado

debido a componentes de la velocidad en el flujo horizontal. El tipo de sedimentación a usarse en un determinado proceso va a depender de las condiciones del tratamiento emitidas por el ingeniero a cargo, del tamaño de las instalaciones de la planta, entre otros factores o mecanismos en la naturaleza de los sólidos en suspensión, de los cuales se pueden enunciar los siguientes: Sedimentación con floculación, sedimentación por sectores o zonas y la sedimentación discreta (Rigola, 2006).



Figura 2.11. Sedimentador Circular

Fuente: Grupo Hidro, 2016

2.3.2.2. Flotación

El proceso de flotación es utilizado para separar emulsiones y partículas sólidas de una fase líquida por medio de microburbujas de un gas, que por lo general es aire. La remoción de las partículas sólidas presentes en un fluido no depende prioritariamente del tamaño ni de su densidad relativa, más bien depende de las características de las microburbujas que posean la textura indicada para poder atrapar los coloides en suspensión inmersos en el líquido saturado de aire. En el tratamiento de las aguas residuales, la flotación es utilizada para la separación de aceites, grasa, coloides, remoción de lodos floculados resultantes de tratamientos de coagulación, etc. El sistema de flotación, puede contar con los siguientes componentes: bomba presurizada, inyección de líquido saturado de aire, tanque retenedor que consiga el contacto aire-líquido, una válvula reguladora de presión y por un tanque de flotación (Ramalho, 2003).

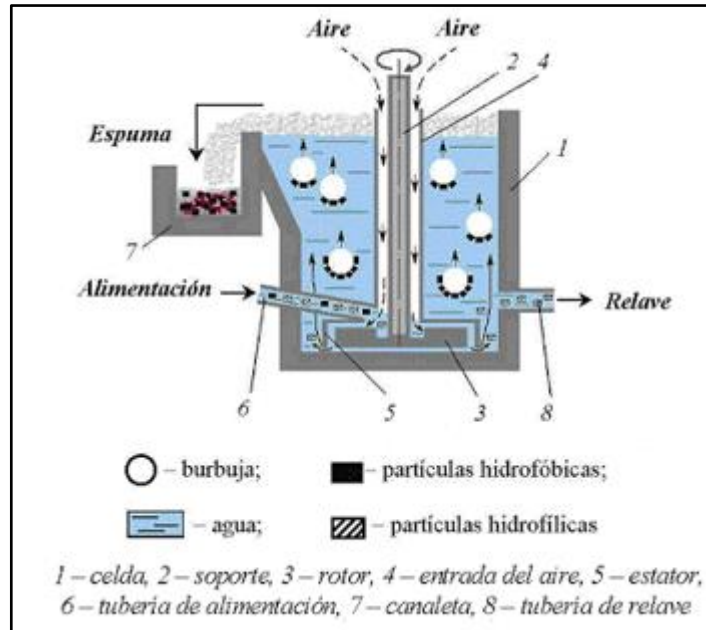


Figura 2.12. Flotación por Espuma en la Máquina

Fuente: Natalia Petrovskaya, 2009

2.3.2.3. Tratamiento Físico-Químico (Coagulación-Floculación)

Se define coagulación a la desestabilización del coloide suspendido por eliminación de capas eléctricas dobles que rodean a las partículas formando microscópicos núcleos, mientras que la floculación cumple la función de aglomerar en microfloculos las partículas que han sido desestabilizadas, siendo estas aglomeradas y removidas. Este tratamiento físico-químico se realiza adicionando reactivos químicos, con el fin de retirar los sólidos en suspensión y coloides, incrementando el tamaño y su densidad mediante el proceso de coagulación-floculación. Fundamentalmente se aplica cuando el vertido de las aguas residuales puedan afectar al tratamiento biológico de una forma negativa por la presencia de altas cargas de sólidos en suspensión y materia orgánica, para evitar altas cargas contaminantes por laminado o estabilización aumentando la eficiencia del tratamiento biológico, cuando las variaciones estacionarias de caudal son grandes, para contaminantes en aguas residuales industriales no biodegradables (generalmente metales pesados), para eliminar fosforo y espesamiento de lodos (Uribe, 2013).

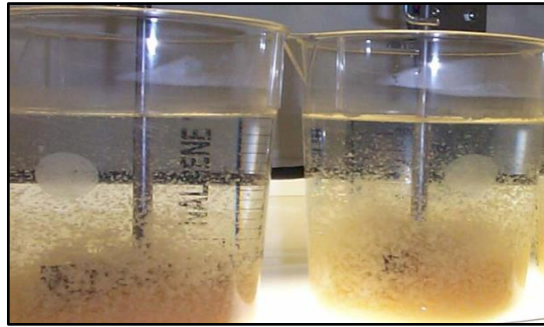


Figura 2.13. Test de Jarras Coagulantes-Floculantes

Fuente: SOLQUIM S.A, 2014

2.3.2.4. Filtración

La filtración en el tratamiento de aguas residuales, es una práctica poco utilizada pero no deja de ser importante ya que consigue eliminar sólidos en suspensión, incluyéndose la DBO particulada y microorganismos objetables, luego del proceso biológico y también es utilizado para eliminar fósforo por métodos químicos generados por una precipitación.

Entre los procesos más avanzados para el tratamiento de aguas residuales en los últimos años se encuentra la filtración por membrana, que tiene como objetivo principal el paso forzado de líquido a través de este sistema. El tipo de membrana que se utilice para los diferentes tipos de agua a filtrar va a depender del tamaño de las partículas que se deseen remover del fluido.

Los sistemas de filtración pueden clasificarse de acuerdo al tipo de funcionamiento, velocidad de filtración, presión filtrante, control de flujo y de acuerdo al tipo y sentido del flujo a filtrar, mientras que las variables dependientes del proceso de filtración serán: el medio filtrante, pérdidas de carga, lechos filtrantes, características de la matriz de agua, etc (Centa, 2012).



Figura 2.14. Filtración por Membranas de la PTAR ESPOL

Fuente: MBR, 2016.

2.3.2.5. Neutralización

El proceso de neutralización generalmente se lo utiliza para ajustar el pH, adicionando un componente alcalino o ácido antes de una descarga, en una matriz de agua residual a un medio receptor. Tiene varias aplicaciones de uso que se enuncian a continuación: antes de descargar aguas residuales ya sean industriales o domesticas a al alcantarillado municipal, antes de comenzar un tratamiento biológico o químico, ya que si el intervalo de pH no se encuentra en el rango de 6.5 a 8.5 no aseguraría un óptimo tratamiento en la degradación biológica y en la precipitación de metales pesados, que por lo general lo hacen en forma de hidróxidos mediante la adición de cal ajustando el pH de 6 a 11. La neutralización incluye métodos de homogenización (proceso de mezclado) y control de pH (neutralizar corrientes ácidas o alcalinas) en el tratamiento de las aguas residuales (Calviño, 2006).



Figura 2.15. Proceso de Neutralización Ácido-Base

Fuente: Satirnet, 2014

2.3.3. Tratamiento Secundario

En el tratamiento secundario se busca eliminar partículas disueltas así como coloidales. Este tratamiento puede incluir un proceso químico o biológico que se realiza por oxidación de materia orgánica mediante una vía aerobia. Generalmente este proceso se da luego de los efluentes del tratamiento primario, en la cual se mezcla el agua con microorganismos que generan lodos activos ayudando a la degradación de carga orgánica u otros contaminantes que sean motivo de análisis (Jairo, 2010).

2.3.3.1. Proceso de Lodo Activado

Este proceso se caracteriza por la generación de masa activa de microorganismos que se estabiliza residualmente mediante vía aeróbica en un sistema. Este tratamiento biológico introduce la materia orgánica dentro de un reactor contenido de bacterias aerobias que podría ser escobio, pseudomona, bacilos sp, entre otros, en la cual se lleva a cabo una reacción de oxidación y síntesis, actuando los microorganismos actúan como catalizadores produciendo CO_2 , NH_3 , nuevas células bacterianas y otros productos finales. Para que el sistema funcione correctamente se deben tener en cuenta tres parámetros fundamentales que son: el ambiente, los nutrientes y la aireación, mediante el cual, este último se consigue por aireadores o difusores que también sirven para mantener al sistema en un estado de mezcla completa (Carmen Arnáiz, 2000).

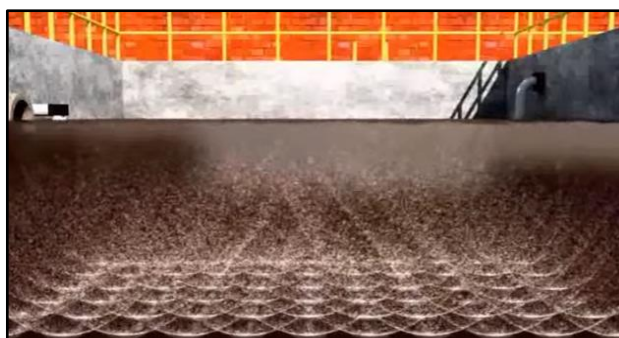


Figura 2.16. Proceso Aeróbico de Lodos Activados

Fuente: Waterexpert, 2015

2.3.3.2. Tratamiento de tensoactivos con Pseudomonas

La Pseudomona es una bacteria Gram negativa que resiste ambientes con alta concentración de surfactantes, cuyo objetivo principal como tratamiento biológico es degradar el Lineal Alquil Benceno en un ambiente de aireación constante y cuyo rendimiento es eficaz a temperaturas entre 33,9 y 34,3 $^{\circ}\text{C}$ y cuyo pH debe ser neutro. Se debe mantener en constante monitoreo el parámetro de pH, ya que el sistema se puede acidificar o a su vez se puede formar un medio alcalino, con lo cual es de gran ayuda el uso de HCL como de NaOH ya que una variación brusca en valor óptimo provocaría la muerte del microorganismo y se daría un alto al tratamiento. Bajo las características óptimas en su desarrollo dentro de un medio

acuático, cumple una función importante en la degradación de tensoactivos (Haro, 2013).



Figura 2.17. Reproducción de Pseudomonas en un Medio Surfactante

Fuente: Jazzroc, 2008

2.3.3.3. Digestión Anaeróbica de Lodos

Este proceso es utilizado generalmente para la estabilización de lodos primarios que es un lodo que se puede digerir y que además posee un olor fuerte, y también están los lodos secundarios. El rendimiento del proceso va a depender de cómo se va reduciendo la cantidad de volátiles aproximadamente en un 50 % y la cantidad de sólidos en un 70% de los parámetros obtenidos inicialmente.

Además es un proceso que se efectúa en dos etapas: la primera con una mezcla y una temperatura de calentamiento que producirá una cantidad mayor de gases y la segunda de almacenamiento en la cual se espesa el lodo digerido y se forma un sobrenadante. Los inconvenientes de estos sistemas se dan cuando en el digester anaeróbico se desequilibran los mecanismos de reacción y se van acumulando gran cantidad de ácidos volátiles (Juan Guevara, 2013).



Figura 2.18. Proceso Anaeróbico de Lodos de Aguas Residuales

Fuente: Agrowaste, 2015

2.3.4. Tratamiento Terciario

Este tratamiento se encarga del pulimento final del agua, ya sea para reutilización (para consumo en riego agrícola), para eliminación de desechos en industrias reguladas por entidades medioambientales o en países desarrollados cuyos parámetros de descarga de las aguas residuales así lo exijan. El tratamiento terciario busca eliminar fósforos y nitrógenos o algún otro componente que logre desarrollar el incontrolado crecimiento de microorganismos (Alberto, 2004).

2.3.4.1. Desnitrificación Biológica

Es uno de los procesos más adecuados ya que posee una alta estabilidad, alto rendimiento del potencial de eliminación, fácil control del proceso y costo de operación relativamente económico. Es un proceso compuesto por dos etapas en la cual, la primera de ellas busca transformar el amoníaco en nitratos mediante un proceso aeróbico y la segunda etapa transforma a los nitratos en gas nitrógeno. El proceso de desnitrificación se clasifica en película fija y anóxicos de cultivo en suspensión. Existen varios sistemas de desnitrificación en el cual se enuncian los siguientes: desnitrificación conjunta, proceso de Bardenpho, canales de oxidación, fangos separados, cultivo en suspensión, entre otros (Jordi Morató, 2006).



Figura 2.19. Desnitrificación por Canales de Oxidación

Fuente: Gramajo, 2017

2.3.4.2. Eliminación de Fósforo

La eliminación de este componente juega un papel importante en la degradación de las aguas residuales ya que se previene la eutrofización y consta de diferentes procesos, como los que se mencionan a continuación: balsas estabilizadas, precipitados químicos, lodos activados, ósmosis inversa y un proceso poco usado pero no menos importante que es la electrodiálisis.

Este tratamiento es capaz de eliminar un valor cercano de 1,0 mg/L de fósforo, por cada 100 mg/L de DBO5 (Bedoya, 2012).

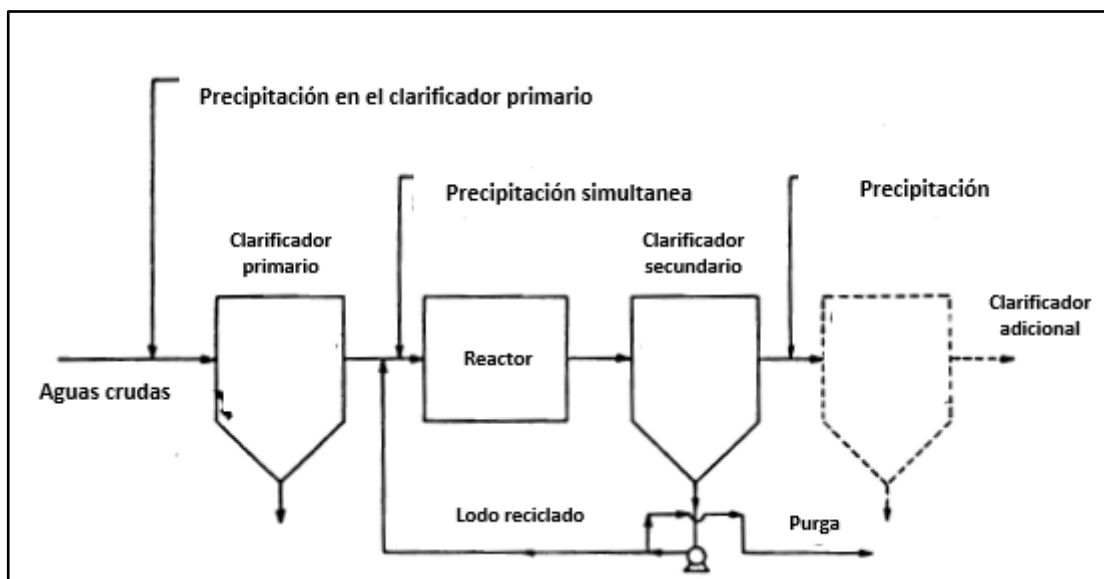


Figura 2.20. Alternativas de Precipitado Para Eliminación de Fósforo

Fuente: Ramalho, 2003

2.4. Factores Para Dimensionamiento

Esta sección presenta las principales consideraciones para el diseño y selección de un sistema de tratamiento de agua residual, a su vez en esta misma sección se explican las ecuaciones y fórmulas que se emplean para el diseño de equipos. Las principales consideraciones que se deben tomar en cuenta son las características del sitio (descarga directa o indirecta) y las características de las aguas residuales como caudal, temperatura, pH, carga orgánica, compuestos tóxicos, etc. Dentro del contexto de las características del sitio y de las aguas residuales, la selección del sistema de tratamiento adecuado debe considerar otros factores, tales como la eficiencia del tratamiento, confiabilidad, tiempos y costos (Dapena, 2010).

2.4.1. Caudal

Uno de los parámetros más importantes, sino tal vez el principal, al momento de realizar el dimensionamiento de los equipos para el tratamiento de los efluentes es el caudal a tratar. Existen varias formas de medir el caudal de un efluente, entre las más usadas tenemos:

- a) Método volumétrico, este método consiste en recoger un volumen conocido de agua tomando el tiempo de llenado de dicho volumen, luego simplemente se divide este volumen por el tiempo, obteniendo un valor aproximado de caudal. Este método por lo general es utilizado para caudales pequeños y en donde exista una accesibilidad para la toma de muestra de volúmenes (Weber W. J, 2003).
- b) Método de objeto flotante, este método toma en consideración el área de la sección por donde se transporta el agua y la velocidad de la misma. Para obtener la velocidad se toma el tiempo que le toma a un objeto flotante para recorrer cierta distancia, luego esa velocidad se multiplica por el área, obteniendo un valor aproximado del caudal (Yaulema B. A, 2015).
- c) Caudalímetros, son instrumentos que se emplean para obtener una medición más exacta del caudal. Si bien se usan muchas tecnologías distintas para medir el caudal, el caudalímetro con desplazamiento positivo es el más exacto porque mide directamente el volumen real. Todos los demás tipos infieren el caudal realizando otro tipo de medición e igualándola con el caudal, como es el caso de la masa y la velocidad. Los caudalímetros más usados en la industria son: caudalímetro ultrasónico, electromagnético, de ruedas ovaladas, rotámetros, medidores de caudal de disco nutante y de disco oscilante, entre otros (Buenaño D. M, 2015).

2.4.2. Muestreo

La integridad de cualquier resultado de laboratorio depende de un correcto muestreo y traslado de las muestras desde el lugar del muestreo hacia el laboratorio. Para la realización de un muestreo confiable se deben cumplir con ciertos requisitos, como por ejemplo, es primordial que antes de la realización del muestreo se disponga de información sobre las características de las descargas que se van a analizar, como en el caso de las descargas industriales, se debe

disponer de datos sobre el volumen de producción, tipos de sustancias químicas que utilizan en sus procesos de producción, ubicación de las descargas, horas de trabajo de la empresa, etcétera. La información adquirida servirá para poder realizar una estimación de los contaminantes que pueden estar presentes en los efluentes, el tiempo de descarga, localización del punto para tomar la muestra (para saber si la muestra es del tipo directa o indirecta) y otros datos que permitirán una adecuada selección de materiales, equipos y seguridad para el muestreo (Vargas J. C, 1999).

En el proceso de muestreo se pueden tomar dos tipos de muestras totalmente diferentes, dependiendo del tiempo y de las características de los efluentes. Una de ellas se denominada muestra instantánea o puntual, como su nombre lo indica es una muestra que toma poco tiempo y en donde solo se toma una porción de los efluentes para analizar. Para elegir este tipo de muestreo se tiene que estar seguro que las características de los efluentes son constantes, caso contrario se recomienda realizar un muestreo compuesto. Una muestra compuesta consiste en tomar porciones de los efluentes a intervalos de tiempos regulares, es decir, por ejemplo tomar cada 15 minutos un litro de agua residual durante 4 horas, al final del proceso de muestreo se va a obtener una muestra compuesta y homogenizada de 17 litros (Arce A. L & Calderón C. G, 2015).

2.4.3. Ecuaciones de Diseño

Existen diferentes parámetros a considerar, al momento de elegir la mejor opción de tratamiento, para una matriz de agua residual industrial. Una vez tomada la decisión, el siguiente procedimiento es determinar el volumen efluente de agua a tratar por unidad de tiempo, más conocido como caudal y cuyas unidades se encuentran en m³/d; el cual se representa mediante la ecuación 1:

$$Q_0 = \frac{V}{T_0} \quad (2.1)$$

2.4.3.1. Separador de Aceites y Grasas

El fundamento principal de un separador de aceites y grasas, se centra en una propiedad intensiva denominada diferencia de densidades. Mediante la relación del caudal y del tiempo de operación se determina el volumen del sistema como lo muestra la ecuación 2:

$$V = Q_0 T_0 \quad (2.2)$$

Luego, otro parámetro fundamental es la razón del volumen con el área (Ramos O. R & Sepúlveda M. R, 2003), por el cual se puede calcular la altura (H) por medio de la ecuación 3:

$$H = \frac{V}{A} \quad (2.3)$$

2.4.3.2. Sedimentador Circular Secundario

El funcionamiento de un sedimentador circular secundario tiene como objetivo fundamental la remoción de sólidos suspendidos, cuya eficiencia no solo depende de la profundidad (altura del sedimentador), si no también va a depender de la concentración de sólidos del lodo, el cual se genera por un manto de lodos gruesos. El área del sedimentador está dado en función del caudal y de la carga superficial (carga de diseño, $5 \frac{m}{d} \leq \text{carga} \leq 33 \frac{m}{d}$, para aireación prolongada), como lo determina la ecuación 4 (UNATSABAR, 2003):

$$A = \frac{Q_0}{\text{carga}} \quad (2.4)$$

La base del sedimentador representa una circunferencia y el área está dada en m^2 , por el cual la variable que se obtiene como relación de superficie, es su respectivo radio, que se calcula mediante la ecuación 5:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.5)$$

El diámetro (\emptyset) cuyo valor es dos veces el radio como lo muestra la ecuación 6:

$$\emptyset = 2r \quad (2.6)$$

El volumen del sedimentador es generado por una relación directamente proporcional entre el área superficial y la profundidad (P). La profundidad del diseño va estar dado bajo la siguiente estimación (Romero, 2010):

Para diámetros $< 12 \text{ m}$; $2 \leq P \leq 3 \text{ m}$

El volumen se calculará mediante la ecuación 7 y la altura de reparto por la ecuación 8:

$$V = AP \quad (2.7)$$

$$H_{\text{reparto}} = 0,25P \quad (2.8)$$

El tiempo de retención hidráulica va a depender de la razón entre el caudal y el volumen del sedimentador, tiene como objetivo llegar a un equilibrio entre el líquido y el sólido, para asegurar la remoción de sólidos sedimentables; y su cálculo está dado por la ecuación 9:

$$T_{\text{HR}} = \frac{Q}{V} \quad (2.9)$$

2.4.3.3. Reactor Biológico de Lodos Activados

Un tratamiento secundario de lodos activados tiene como característica fundamental una aireación prolongada, debido al desarrollo bacteriano y a la eliminación de sólidos volátiles. Para la degradación de compuestos orgánicos es importante determinar qué tiempo le va tomar a las bacterias, realizar dicho proceso. En este análisis la variable de control es denominada tiempo de retención hidráulica celular (T_w) y se diferencia de otros sistemas porque va a depender tanto de la velocidad específica de formación de biomasa (μ_m), así como de la tasa relativa de respiración endógena (K_d), que se relaciona por la ecuación 10 (Mecías, 2012):

$$(2.10) \quad T_w = \frac{1}{\mu_m - K_d} \quad (2.10)$$

El tiempo de residencia de los lodos en el sistema o de retención, es medido por el tiempo de retención celular (T_x), que va a depender de un factor de retención (FS)

en un intervalo de $10 < FS < 80$ y del tiempo de retención hidráulica definida por la ecuación 11:

$$T_x = FST_{HR} \quad (2.11)$$

La concentración de carga orgánica de remoción (S_s), es función de 4 variables: la constante de saturación del sustrato (K_s), la tasa relativa de reparación endógena (K_d), el tiempo de retención celular (T_x) y de la velocidad específica de formación de biomasa (μ_m); todas estas variables se relacionan de la siguiente manera por medio de la ecuación 12:

$$S_s = \frac{K_s(1 + T_x K_d)}{T_x(\mu_m - K_d)^{-1}} \quad (2.12)$$

El tiempo de retención hidráulica del proceso (T_{HR}), toma como variable de análisis a la concentración de biomasa de diseño (X), que se encuentra en un intervalo de 1500 a 4000 SSV/L, la relación entre los sólidos suspendidos volátiles y los mg DBO₅ consumida (Y), la constante de saturación del sustrato (K_s), la tasa relativa de reparación endógena (K_d), el tiempo de retención celular (T_x) y de la velocidad específica de formación de biomasa (μ_m), cuya representación está dada por la ecuación 13:

$$T_{HR} = Y \frac{T_x}{X} \left[\frac{S_0}{1 + T_x K_d} - \frac{K_s}{T_x \mu_m - (1 + T_x K_d)} \right] \quad (2.13)$$

El volumen del reactor biológico depende de dos parámetros; el primero que es el caudal y el segundo, que es el tiempo de retención hidráulica. Aquí va a generarse el tratamiento de lodos activos por oxigenación prolongada y su volumen se lo calcula de la siguiente manera, como lo muestra la ecuación 14:

$$V = Q_0 T_{HR} \quad (2.14)$$

La carga másica (F/M) del proceso está relacionada por la demanda química de oxígeno del efluente de las aguas de proceso (S_0), el tiempo de retención hidráulico (T_{HR}) y la concentración de biomasa de diseño (X), enunciada en la ecuación 15:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{T_{HR} X} \quad (2.15)$$

El caudal de purga (Q_w) está conformada por 4 variables, las cuales dependen de la concentración de biomasa del agua residual a tratar (X_w), el volumen del reactor biológico (V), la concentración de biomasa de diseño (X) y del tiempo de retención celular (T_x), indicados en la ecuación 16:

$$Q_w = \frac{VX}{T_x X_w} \quad (2.16)$$

El oxígeno que necesita el sistema aeróbico para el desarrollo bacteriano se lo determina mediante el caudal de oxigenación (Q_{O_2}), que tiene una relación directamente proporcional al caudal de diseño (Q_0) con el gradiente de concentración de la demanda química de oxígeno, junto con un factor de 1,42 que relaciona al caudal de purga (Q_w) y la concentración de biomasa del agua residual a tratar (X_w), enunciado en la ecuación 17:

$$Q_{O_2} = Q_0(S_0 - S) - 1,42Q_w X_w \quad (2.17)$$

La relación de recirculación que está dada en función de la concentración de biomasa del agua residual a tratar (X_w), la concentración de biomasa de diseño (X) del tiempo de retención celular (T_x), el tiempo de retención hidráulico (T_{HR}), que indican la cantidad de agua a recircular, de acuerdo a las exigencia del proceso y de las cargas contaminantes a degradar y se determina por la ecuación 18:

$$R = \frac{X(T_x - T_{HR})}{T_x(X_w - X)} \quad (2.18)$$

Una vez determinada la relación de recirculación, se procede a calcular el caudal de recirculación (Q_R) de dicho proceso con la ecuación 19:

$$Q_R = RQ_0 \quad (2.19)$$

El caudal de salida del sistema (Q_s), se genera por una diferencia entre el caudal de diseño (Q_0) y el caudal de purga (Q_w), mediante la ecuación 20:

$$Q_s = Q_0 - Q_w \quad (2.20)$$

La eficiencia del tratamiento secundario (E%) se lo determina de acuerdo a la remoción de la demanda química de oxígeno, el cual para que sea eficiente debe encontrarse en un intervalo de 85 a 95 %. Dicha eficiencia viene dada por la ecuación 21:

$$E(\%) = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad (2.21)$$

2.5. Normativa Ambiental Vigente

Para la realización de este proyecto de materia integradora, así como para la verificación y eficacia del sistema de tratamiento propuesto para los efluentes de la empresa se tomó en cuenta la normativa ambiental vigente en la ciudad de Guayaquil. Para el control del proyecto se consideró el anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso agua, así como también las Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil.

2.5.1. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente.

La última reforma del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente fue publicada en el registro oficial No. 061 el lunes 04 de mayo del 2015. El anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente es dictado bajo el amparo de la ley de gestión ambiental y del reglamento a la ley de gestión ambiental para la prevención y control de la contaminación ambiental en la república del Ecuador. El objetivo principal de esta norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general. Dicho anexo establece:

- Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua.
- Las definiciones de términos importantes y competencias de los diferentes actores establecidas en la ley.
- Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos.

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado.
- Permisos de descarga
- Los parámetros de monitoreo de las descargas a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado de actividades industriales o productivas, de servicios públicas o privadas.
- Métodos y procedimientos para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación del agua.

2.5.1.1. Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público.

Las descargas de efluentes industriales al sistema de alcantarillado público provenientes de actividades a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la tabla 2.21, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 2.17. Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público

Parámetros	Expresado como	Unidad	L.M.P.
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/L	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/L	Cero
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico 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	DBO ₅	mg/L	250,0
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/L	500,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	L.M.P.
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,0
Fósforo total	P	mg/L	15,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Hierro total	Fe	mg/L	25,0
Manganeso total	Mn	mg/L	10,0
Mercurio total	Hg	mg/L	0,01
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	60,0
Organofosforados	Especies totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,5
Plomo	Pb	mg/L	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6 – 9
Selenio	Se	mg/L	0,5
Sólidos Sedimentales	SD	mg/L	20,0
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220,0
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	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 carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,0

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente.

2.5.1.2. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

En condiciones de ausencia de estudios del cuerpo de agua receptor de las descargas líquidas, se deberán utilizar los valores de la tabla 2.22, en donde se muestran las limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 2.18. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	L.M.P.
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/L	30,0
Alkil mercurio		mg/L	
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	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	Extracto carbón cloroformo	mg/L	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Pt-Co	No Detectable Dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/L	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0,1
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/L	100,0
Demanda Química 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
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	L.M.P.
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	50,0
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 totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/L	0,5
Temperatura	°C		Condición Natural ± 3
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente.

2.5.1.3. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Marina.

Las descargas de efluentes a cuerpos de agua marina deberán cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 2.23, cuyas concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 2.19. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Marina.

Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permissible	
		Zona de Rompientes	Emisario Submarinos
Aceites y grasas	mg/L	30,0	30,0
Aluminio	mg/L	5,0	5,0
Arsénico total	mg/L	0,5	0,5
Cianuro total	mg/L	0,2	0,2
Cinc	mg/L	10,0	10,0
Cobalto	mg/L	0,5	0,5
Cobre	mg/L	1,0	1,0
Coliformes fecales	NMP/100ml	2000	2000
Color real	Pt-Co	No Detectable Dilución 1/20	No Detectable Dilución 1/20
Compuestos fenólicos	mg/L	0,2	0,2

Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permisible	
		Zona de Rompientes	Emisario Submarinos
Compuestos organoclorados	ug/L	50,0	50,0
Compuestos Organofosforados	ug/L	100,0	100,0
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	200,0	400,0
Demanda Química de oxígeno	mg/L	400,0	600,0
Hidrocarburos totales de petróleo	mg/L	20,0	20,0
Materia flotante		Ausencia	Ausencia
Mercurio total	mg/L	0,01	0,01
Nitrógeno total Kjeldahl	mg/L	40,0	40,0
Potencial de hidrógeno		6 – 9	6 – 9
Sólidos suspendidos totales	mg/L	250,0	250,0
Sulfuros	mg/L	0,5	0,5
Carbamatos	mg/L	0,25	0,25
Temperatura	°C	< 35	< 35
Tensoactivos	mg/L	0,5	0,5

Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente, 2016.

2.5.2. Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil

Los establecimientos que se encuentren dentro del cantón Guayaquil que generen aguas residuales, sus representantes legales deben presentar sus respectivos reportes de monitoreo ambiental que corresponda al año vigente de acuerdo al siguiente orden:

- Industrias cuyo nombre sea en orden alfabético, tomando la primera letra de la razón social.
- La fecha de entrega del reporte anual será al año siguiente de su fecha de emisión.
- Los reportes serán receptados en la Dirección de Ambiente.

Toda entidad industrial que genere aguas residuales deberán desarrollar los monitoreos respectivos mensualmente, caracterizando sus respectivos lodos al menos una vez cada año, cuyos resultados deberán ser adjuntados al reporte anual

de Monitoreos Ambientales, adjuntando las respectivas fotografías de los puntos de muestra y con la firma del representante encargado.

Si las aguas residuales son dispuestas por un gestor ambiental deberá adjuntar al informa la siguiente información:

- Permisos ambientales de la entidad gestora, transporte, tratamiento y disposición de las aguas residuales industriales.
- Certificación final de disposición, cadena de custodia y su respectiva clave de manifiesto.

De no cumplir con los parámetros establecidos por el Gobierno Descentralizado de Guayaquil mediante la Dirección de Ambiente, se tomaran acciones e infracciones administrativas en el transcurso del proceso con su respectivo control ambiental (Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil, 2017).

El Municipio de Guayaquil para el control de las descargas industriales al alcantarillado público clasifico las empresas según su ocupación industrial, en dicha agrupación se detallan los parámetros a controlar según la ocupación de la industria. En el caso de este proyecto la empresa a estudio forma parte del grupo de las fábricas que se dedican a la “Fabricación de jabones y detergentes, preparados para limpiar y pulir, perfumes y preparados de tocador”. En la siguiente tabla 2.24 se presentan los límites máximos permisibles de los parámetros que el Gobierno Descentralizado de Guayaquil exige a la empresa en estudio para la descargas de sus efluentes al alcantarillado público.

Tabla 2.20. Límites de Descarga al Alcantarillado Público para una Empresa que se Dedicar a la Fabricación de Jabones y Detergentes.

Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Solubles en hexano	mg/L	70,0
Color	Color real	Pt-Co	-----
DBO	DBO ₅	mg/L	250,0
DQO	DQO	mg/L	500,0
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/L	220,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/L	2,0
Zinc	Zn	mg/L	10,0

Fuente: Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil, 2017.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En este capítulo se detalla todo el proceso de experimentación para la realización de este proyecto, además de los procesos que se emplearon para la medición de caudales y tomas de muestras. En esta sección también se incluye el diseño del sistema de tratamiento propuesto como la justificación económica y espacial del mismo.

3.1. Medición de Caudales

El caudal para la realización de este proyecto se midió directamente de la caja de las descargas líquidas de la empresa como lo observamos en la figura 3.1. Este caudal medido corresponde al volumen de agua residual por unidad de tiempo que se va a tratar en el sistema de tratamiento propuesto.

3.1.1. Materiales y Equipos

- Recipiente graduado de 1 litro de capacidad
- Cronómetro
- Guantes de látex
- Calculadora

3.1.2. Procedimiento

La medición de caudales se realizó entre la semana del 5 al 9 de junio y del 3 al 7 de Julio del 2017, entre las horas de 13:00pm a 17:00pm. El procedimiento que se escogió para medir el caudal del efluente de la empresa es el método volumétrico. Se escogió este método ya que el caudal de la empresa es relativamente pequeño y porque a la salida de las descargas líquidas se podía interponer un recipiente para la recolección de muestras de volúmenes.

El procedimiento consistió en recoger una cantidad conocida de volumen (1000 ml) en un recipiente plástico, registrando el tiempo que se tomaba para el llenado de dicho volumen, con un intervalo de tiempo de 15 minutos entre cada medición. En

la figura 3.1 se puede observar la medición de caudales de los efluentes de la empresa.



Figura 3.1. Medición de Caudales.

A continuación se presenta la tabla 3.1, la cual detalla los caudales promedios en ml/seg que se obtuvieron a base de la información de las dos semanas en las cuales se realizó la medida de caudales.

Tabla 3.1. Caudales Promedios de los Efluentes de la Empresa (ml/seg).

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
13:00	123,95	103,77	90,35	76,92	81,57
13:15	96,51	123,62	178,69	110,00	121,21
13:30	162,76	139,13	126,14	141,56	107,76
13:45	210,95	146,36	103,61	123,89	108,34
14:00	190,67	198,25	149,81	176,67	140,06
14:15	246,34	206,95	196,34	260,00	105,26
14:30	226,94	245,31	186,94	152,86	192,31
14:45	184,67	236,14	229,14	135,00	121,21
15:00	134,64	221,64	196,35	152,86	100,00
15:15	213,62	211,41	182,57	143,51	109,17
15:30	168,36	249,34	206,95	155,67	116,69
15:45	146,39	180,51	196,61	139,47	122,36
16:00	136,27	173,91	176,48	148,36	145,87
16:15	159,38	182,43	153,59	102,29	151,16
16:30	121,65	160,87	147,65	128,15	180,36
16:45	117,94	126,83	131,14	159,34	210,49
17:00	136,64	115,71	106,37	122,36	135,98

Elaboración: Los Autores.

Con los datos de la tabla 3.1 se pudo determinar un caudal promedio semanal el cual fue de 155,85 ml/seg, mediante factores de conversión y con la información de que la empresa por lo general trabaja de 08:00am a 18:00pm, es decir 10 horas al día, se pudo llevar ese caudal a m³/día.

$$Q = 155,85 \frac{\text{ml}}{\text{seg}} \times \frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hora}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{10 \text{ horas}}{1 \text{ día de trabajo}}$$
$$Q = 6,79 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

3.2. Toma de Muestras

Para el caso de este proyecto la información que se recopiló sobre la empresa para poder realizar una toma de muestra confiable fue la siguiente:

- a) La empresa se dedica a la fabricación de productos de limpieza (detergentes, jabones líquidos, desengrasantes, removedores de látex, cera para pisos, etc.).
- b) Por lo general la empresa trabaja de ocho de la mañana hasta las seis de la tarde (10 horas de trabajo).
- c) El punto para la toma de muestra está ubicado en un lugar accesible.
- d) Por lo general los caudales y la composición de los efluentes son constantes, en ocasiones al finalizar cada mes aumentan su producción.
- d) Los efluentes generados por la empresa terminan desembocando en el sistema de alcantarillado público de INTERAGUA.

El principal objetivo del muestreo es asegurar que la muestra sea representativa, es decir que el contenido total de la muestra sea el mismo que el del efluente del cual se ha tomado. Para eso se determinó que la toma de muestra sea del tipo compuesta, ya que este tipo de muestras ofrecen condiciones medias de los efluentes a lo largo de un tiempo prolongado y así poder obtener una muestra representativa de los efluentes generados en un turno de trabajo. Cabe añadir que como el caudal de los efluentes de la empresa es constante, la muestra compuesta fue conformada por un número adecuado de porciones uniformes recogidas a intervalos de tiempo regulares. Cabe recalcar que la etapa de muestreo se realizó bajo las directrices de la norma INEN, específicamente la NTE INEN 2176:2013.

3.2.1. Materiales y Equipos

- Recipiente de vidrio para muestras
- Recipiente plástico para muestras
- Recipiente de 20 litros
- Recipiente de 1 litro
- Guantes de látex
- Hielera

3.2.2. Procedimiento

La toma de la muestra compuesta se realizó el día viernes 28 de julio del 2017, entre las 10:30am a 11:30am. Este proceso de muestreo consistió en tomar alícuotas de 4 litros directamente de las descargas líquidas generadas por la empresa cada 15 minutos, durante la hora que duró la etapa de muestro, e ir depositándolas en un recipiente mayor para una adecuada homogenización, como se muestra en la figura 3.2. Al final de esta etapa se recopiló una muestra compuesta y homogenizada de 20 litros, bajo refrigeración a 4 °C aproximadamente, de los cuales 2 litros fueron enviados al laboratorio “Grupo Químico Marcos S.A” para el análisis de aceites y grasas, DQO, DBO₅ y tensoactivos, y el resto de la muestra fue llevada al laboratorio de aguas de la ESPOL para respectivos análisis.



Figura 3.2. Proceso de Toma de la Muestra Compuesta.

En la tabla 3.2 se describen condiciones que se deben tomar en cuenta para un buen muestreo y preservación de las muestras, para que así los parámetros a analizar no sufran alteraciones y al momento de tener los resultados de estos, generar una buena caracterización de los efluentes.

Tabla 3.2. Condiciones Para el Proceso de Toma de Muestras.

Parámetro	Refrigeración (° C)	Envase	Preservantes	Tiempo Máximo para Análisis
Aceites y Grasas	2 – 5	Vidrio Ámbar Enjuagado con Hexano	Ácido Clorhídrico 1 + 1	30 Días
DBO ₅	2 – 5	Plástico o Vidrio Oscuro	Ninguno	24 Horas
DQO	2 – 5	Plástico	pH < 2 Con Ácido Sulfúrico	28 Días
Tensoactivos	2 – 5	Plástico	Ninguno	48 Horas
pH	2 – 5	Plástico	Ninguno	24 Horas
Conductividad Eléctrica	2 – 5	Plástico	Ninguno	24 Horas
Turbidez	2 – 5	Plástico o Vidrio Oscuro	Ninguno	24 Horas
Oxígeno Disuelto	2 – 5	Plástico	Ninguno	24 Horas

Fuente: Grupo Químico Marcos S.A. Elaboración: Los Autores.

3.3. Caracterización de los Efluentes

Después del proceso de muestreo, se realizó la caracterización de los efluentes, para ello las muestras que se tomaron de los efluentes de la empresa fueron sometidas a respectivos análisis. Cabe recalcar que la empresa nos proporcionó información de análisis que habían realizado a sus efluentes sobre los parámetros que exige el municipio de Guayaquil para poder descargar sus efluentes al alcantarillado público, dichos análisis tenían fechas de marzo 2016, octubre 2016 y abril del 2017. En estos análisis se pudo percatar que parámetros como DQO, DBO₅ y tensoactivos superaban a los valores máximos permisibles, motivo por el cual estos parámetros fueron nuevamente analizados.

Para el análisis de aceites y grasas, DQO, DBO₅ y tensoactivos se buscó un laboratorio acreditado a nivel nacional, como es el caso del laboratorio “Grupo Químico Marcos S.A”, y así realizar una mejor caracterización de los efluentes con datos actuales de estos parámetros. Los demás parámetros que se analizaron fueron realizados en el laboratorio de Aguas del Departamento de Química de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (oxígeno disuelto, conductividad, salinidad, turbiedad y pH). Cabe recalcar que el mismo día en que se tomó la muestra se analizó el DQO en el laboratorio de Aguas. Se realizó tal análisis para tener información de la carga orgánica de los efluentes al inicio de la experimentación con las bacterias. En la tabla 3.3 se presentan los valores de ciertos parámetros para la caracterización de los efluentes.

Tabla 3.3. Caracterización de los Efluentes de la Empresa.

Parámetros	Unidad	Resultados
Temperatura ***	°C	25,0 – 28,0
Oxígeno Disuelto (OD) ***	mg/L	7,07 – 2,05
Conductividad ***	uS/cm	511 - 450
Salinidad ***	ppt	0,39 – 0,28
Turbiedad	NTU	242 - 180
Potencial de Hidrógeno (pH)***	mg/L	5,62 – 8,60
Color **	Pt/Co	300,0 – 400,0
Fenol **	mg/L	No detectable
Sólidos Suspendidos Totales **	mg/L	10,0 – 30,0
Cinc **	mg/L	0,1 – 0,3
Aceites y Grasas *	mg/L	8,0 – 36,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno *	mg/L	2664 - 2260
Demanda Química de Oxígeno *	mg/L	4964 - 3298
Tensoactivos *	mg/L	36,0 – 12,6
* Parámetro medido en los laboratorios Grupo Químico Marcos S.A		
** Parámetro medido por parte de la Empresa		
*** Parámetro medido en El laboratorio de Aguas de la ESPOL		

Elaboración: Los Autores.

3.3.1. Materiales y Equipos

A continuación se nombran los equipos (figura 3.3), materiales y reactivos que se utilizaron para la realización de los análisis de las muestras en el laboratorio de Aguas del Departamento de Química de la ESPOL:

- Multiparámetro HANNA
- Turbidímetro HACH 2100AN
- Espectrofotómetro Thermo Scientific
- Digestor para muestras HACH DRB 200
- Vasos de precipitación de 100 ml
- Micropipetas
- Agua tipo 1
- Viales de digestión para DQO
- Soluciones patrón (calibración)
- Cloruro de potasio (calibración)



Figura 3.3. Equipos Empleados para el Analisis de Muestras.

3.3.2. Procedimiento

Los procedimientos que se van a describir en seguida son los establecidos en el laboratorio de aguas del Departamento de Química de la ESPOL. Los procedimientos detallan el uso y la calibración del multiparámetro HANNA (calibración de las sondas de pH, conductividad y oxígeno disuelto), del turbidímetro HACH y del espectrofotómetro. En este laboratorio y bajo estos procedimientos se obtuvieron datos de los siguientes parámetros: temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad, pH, turbiedad y DQO.

Para la realización del análisis de las muestras de agua con el multiparámetro HANNA, se procedió a colocar parte de la muestra en vasos de precipitación de 250 ml, para que así las respectivas sondas del multiparámetro tengan un buen contacto con el agua y generen un valor correcto del parámetro a medir.

Para la realización del análisis de las muestras de agua con el turbidímetro HACH 2100AN, se procedió a colocar una alícuota de la muestra en un tubo de ensayo, el cual luego es colocado dentro del turbidímetro generando así el valor de turbiedad de la muestra.

Cabe recalcar que antes de realizar las respectivas mediciones el multiparámetro HANNA y el turbidímetro HACH 2100Q se deben calibrar. En breve se detalla el proceso de calibrado de estos equipos de medición.

➤ Multiparámetro HANNA

- Para la calibración de la sonda de pH del equipo multiparámetro HANNA, se procede a introducir la sonda en un vaso precipitado y se mide el pH con soluciones patrón, dichas soluciones son las siguientes: a) solución amarilla con pH 7, b) solución de color rojo con pH 4 y c) solución de color azul con pH 10. Al momento de introducir la sonda en las respectivas soluciones patrón se debe presionar el botón calibración del multiparámetro y luego presionar OK después que en la pantalla salga “calibración lista”.
- Para la calibración de la sonda de oxígeno disuelto, primero se debe limpiar la membrana con un cepillo que viene incluido en el equipo, luego se procede a secar la membrana con un hisopo con mucho cuidado para no dañarla. Finalmente se introduce la sonda en un recipiente con una solución saturada de cloruro de potasio, luego de la calibración y si esta fue realizada adecuadamente el equipo deberá dar como lectura un valor del 100% de oxígeno disuelto, caso

contrario se procede a limpiar de nuevo la membrana y a repetir los pasos mencionados anteriormente.

- Para la calibración de la sonda de conductividad, en primer lugar se procede a ingresar en el menú del equipo, se elige la opción “calibración” y se presiona el botón OK, se elige el parámetro de conductividad y se sumerge la sonda en una solución standard de conductividad hasta que en la pantalla del equipo se muestre la frase “calibración lista”, finalmente se presiona el botón OK y se procede a secar la sonda.
- Finalmente una vez que el equipo esta calibrado se procede al análisis de las muestras como se observa en la figura 3.4.



Figura 3.4. Medición de pH, Conductividad y Oxígeno Disuelto en el Multiparámetro.

➤ Turbidímetro (Hach 2100Q)

- Primero se procede a encender el Turbidímetro. Para la calibración se utilizan soluciones estándares de 20, 100 y 800 NTU de acuerdo a lo que vaya indicando el equipo, protegiéndolos de la luz solar. Dar OK cada vez que termine de calibrarse con el standard correspondiente.
- Finalmente una vez que el equipo esta calibrado se procede al análisis de las muestras.

En breve se detallan los pasos que se realizaron para la determinación del DQO de la muestra en el Espectrofotómetro Thermo Scientific.

- En primer lugar se realizó una dilución de la muestra 1 en 10, es decir en un vaso de precipitación con el uso de una micropipeta se vertió 1 ml de la muestra de los efluentes y 9 ml de agua tipo 1. Cabe recalcar que se decidió hacer dicha dilución por el motivo de desconocer el valor aproximado de DQO, debido a que su valor se acercaba a 5000 mg/L en el análisis de meses anteriores de las aguas residuales de la empresa y además que el intervalo de los viales que disponíamos poseían un rango de medición de 20 a 1500 mg/L.
- Luego se realizó la elaboración del blanco, para ello con el uso de una micropipeta se vertió 2 ml de agua tipo 1 en uno de los viales.
- Después de hacer el blanco, se procedió a introducir 2 ml de la muestra en un vial (figura 3.5), una vez que los dos viales (blanco y muestra) estén listos se procede a colocarlos en el digestor de muestras a 150 °C durante dos horas, como se lo observa en la figura 3.6.



Figura 3.5. Preparación de Muestra



Figura 3.6. Muestra en el Digestor

- Finalmente después del proceso de digestión de los viales, se procede a medir el DQO, para eso primero se coloca el blanco y se procede a pulsar el botón “Zero Base”, luego se coloca la muestra y se presiona el botón “Run”, generando así el valor del DQO de la muestra en la pantalla del espectrofotómetro.

3.4. Experimentación

El proceso de experimentación del proyecto es un paso clave para poder realizar una adecuada selección y diseño del sistema de tratamiento, dicha experimentación está conformado por dos partes. La primera y la más importante es la simulación de dos reactores biológicos, con esto se logró seleccionar la bacteria idónea para el tratamiento de los efluentes de la empresa. La otra parte, una vez seleccionada la bacteria, es la simulación en un prototipo. Cabe explicar que el uso del prototipo es para dar un mayor realce a la experimentación, mas no para tomar en cuenta en el diseño del sistema de tratamiento, ya que se utilizó un prototipo general no específico a nuestro caso.

3.4.1. Experimentación con Bacterias

Para el tratamiento de los efluentes de la empresa se ha propuesto como proceso principal, un tratamiento de lodos activados, que es un tratamiento aeróbico, el cual se caracteriza por una ingesta constante de oxígeno al sistema, para obtener resultados eficientes en el tratamiento. La experimentación con las bacterias se llevó a cabo en un tiempo de 14 días (tiempo de estabilización del sistema), el cual fue conformado por dos reactores biológicos con 9 litros de agua residual industrial cada uno. En el primer reactor mostrado en la figura 3.7, se utilizó como agente de tratamiento a la bacteria *Pseudomona Aeruginosa*, mientras que en el segundo reactor mostrado en la figura 3.8, se usó como agentes de tratamiento a una combinación de bacterias, como es el caso de la *Bacillus sp*, la cual está formada por un grupo de bacterias que se encarga de la remoción de la materia orgánica y otro grupo que realiza la reducción de tensoactivos.



Figura 3.7. Reactor con *Pseudomona*

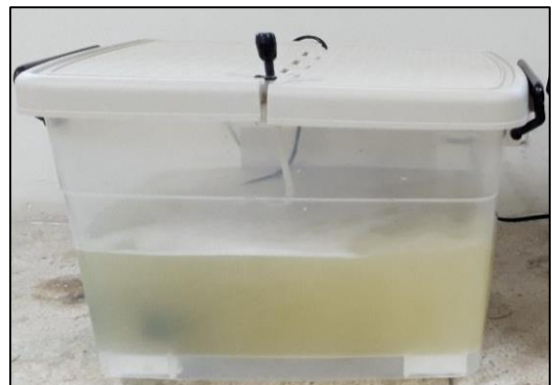


Figura 3.8. Reactor con *Bacillus sp*

A lo largo del tiempo de experimentación con las bacterias se realizó actividades día a día, las cuales son las siguientes:

- Medición de DQO
- Medición de pH
- Medición de lodos formados
- Evacuación de 4,5 litros de agua en cada reactor
- Colocación de 4,5 litros de efluentes en cada reactor
- Adición de 4 gramos de bacterias a cada reactor correspondiente

3.4.1.1. Materiales y Equipos

Para la experimentación con las bacterias, se hizo uso de los siguientes equipos y materiales, los mismos se muestran en la figura 3.9.

- 2 recipientes de 15 litros
- 2 bombas de aireación
- Muestra de agua residual
- 70 g de bacteria *Pseudomona*
- 70 g de bacteria *Bacillus sp*
- 1 Cono Imhoff de 1000 ml
- 1 Vaso de precipitados de 1000 ml
- 1 Pipeta de 10 ml
- 1 Pipeta de 5 ml
- 1 Pipeta de 2 ml
- 1 Pipeta de 1 ml
- 1 Pera
- 1 Gotero
- Agua destilada
- 1 Balanza analítica
- 1 Espátula
- Guantes de látex
- 1 Medidor de pH
- 1 Termómetro
- 1 Microscopio
- 1 Cámara de Neubauer



Figura 3.9. Materiales y Equipos Utilizados en el Proceso de Experimentación

3.4.1.2. Procedimiento

1. Se vertieron 9 litros de agua residual industrial en cada reactor y se instalaron las bombas de aireación sumergibles como lo muestra la figura 3.10.
2. Se monitoreó el pH inicial del proceso. Como se explicó en el capítulo 2, el valor del pH es crucial para el desarrollo bacteriano. Este procedimiento se ilustra en la figura 3.11.



Figura 3.10. Montaje del prototipo



Figura 3.11. Medición de pH

3. Cada 24 horas se realizó la preparación de la muestra, cuyo proceso fue pesar 4 gramos de cada sepa de bacterias en la balanza analítica, estandarizada en la figura 3.12.
4. El desarrollo bacteriano va a depender de varios factores, lo cual va a ir delimitando su proceso de reproducción y vitalidad por lo cual se Inocularon 4 g de bacterias de cada sepa a cada reactor (se repitió cada día este proceso durante el periodo de experimentación), proceso que puede ser visualizado en la figura 3.13.



Figura 3.12. Pesaje de bacterias



Figura 3.13. Inoculación de bacterias

5. Luego de haber realizado cada uno de los procedimientos antes mencionados, se dio paso al encendido de las bombas sumergibles de aireación y al inicio de la experimentación, cerrando las tapas de los dos reactores, para simular un sistema a escala real (figura 3.14).



Figura 3.14. Sistema en operación

6. Entre los parámetros más importantes a ser analizados paulatinamente, es la demanda química de oxígeno, por lo que monitoreó los viales de digestión con la muestra en un espectrofotómetro (figura 3.15), para cada reactor cada 24 horas durante 14 días con una dilución de 1:10, para llevar un control en la remoción de carga orgánica.



Figura 3.15. Medición de DQO en el espectrofotómetro

7. Una vez dada la iniciación del proceso de tratamiento aeróbico, día a día se fue realizando el conteo celular de las bacterias con un hematocímetro (cámara de Neubauer), mediante la visualización de los organismos mediante un microscopio, en el cual su procedimiento de puede observar en la figura 3.16, para monitorear su desarrollo y su correcto funcionamiento en la remoción de cargas orgánicas, así

como el principal problema, que es la alta concentración de tensoactivos presentes en los efluentes de las aguas de proceso.

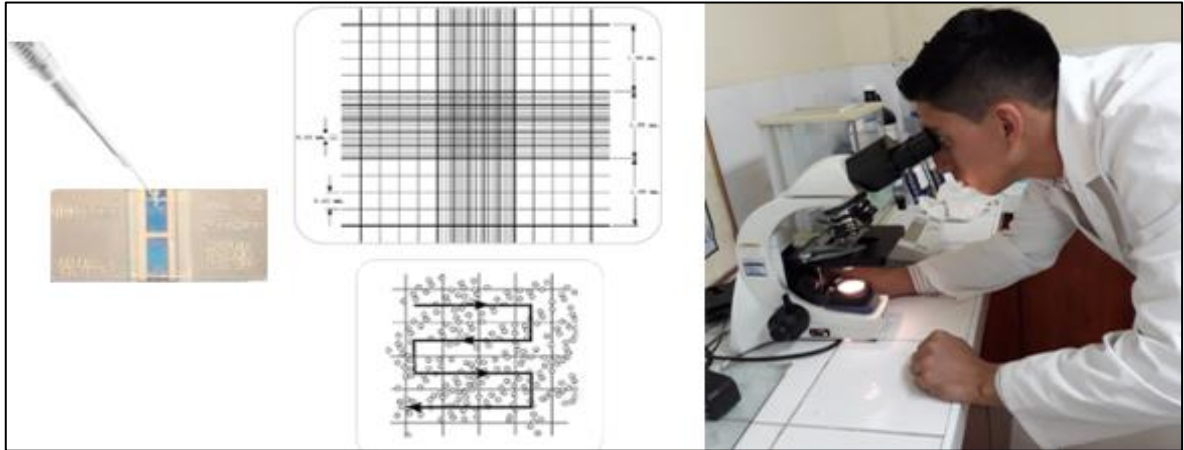


Figura 3.16. Conteo de bacterias con un microscopio en la cámara de Neubauer

8. En el tercer día de proceso, se comenzó a medir el volumen de biomasa formada (figura 3.17), ya que su presencia en los reactores fue significativa. La medición se la hizo mediante un proceso de sedimentación en un cono Imhoff (después del tercer día la medición del volumen de biomasa fue a diario). Este parámetro fue monitoreado, para determinar si la bacteria biodegradaba la carga orgánica presente en la muestra de agua, además de determinar la concentración de lodos para los posteriores diseños de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales



Figura 3.17. Determinación de biomasa en un cono Imhoff por sedimentación

9. Para desarrollar la simulación de un proceso continuo de producción a escala real, cada 24 horas de retención se retiró del sistema 4 litros de agua residual tratada y se le agregó 4 litros de agua residual fresca, procedimiento que se visualiza en la figura 3.18. Una vez que se terminaron los primeros 20 litros que fueron tomados en el muestreo inicial, se procedió a recoger una nueva matriz de agua en la empresa objeto a estudio de remediación.

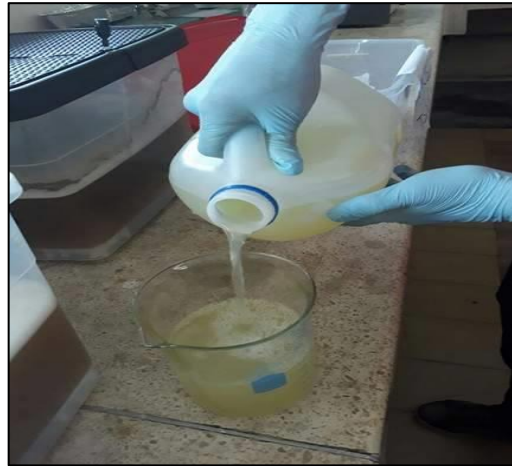


Figura 3.18. Preparación de la muestra de agua residual fresca

10. Una vez concluido el proceso de experimentación con las bacterias, se procedió a la toma de muestras de agua tratada (figura 3.19) de cada reactor correspondiente. Se refrigeraron a una temperatura comprendida de 4 a 5°C (figura 3.20) y se enviaron al Laboratorio Grupo Químico Marcos S.A., para el respectivo análisis de DBO₅ y tensoactivos. El análisis de pH y de DQO al final del tratamiento se realizó en el laboratorio de aguas de la ESPOL. Con los resultados de estos 4 parámetros que se analizaron se realizó la selección de la bacteria para el sistema propuesto.



Figura 3.19. Preparación de muestras De agua residual tratada



Figura 3.20. Preservación de las muestras

3.4.2. Experimentación con Prototipo

Luego del periodo de experimentación de 14 días (tiempo de estabilización del sistema) y de seleccionar la bacteria idónea para el sistema propuesto, se procedió hacer una corrida del tratamiento a mayor escala con la utilización de un prototipo. El prototipo que se utilizó está ubicado en el laboratorio CEMA perteneciente al departamento de química de la ESPOL y el mismo se utiliza para la representación de un sistema de potabilización de agua.

3.4.2.1. Materiales y Equipos

- 1 Bomba de aireación sumergible
- Guantes de látex
- 1 bomba centrífuga
- Agua residual proveniente de la empresa
- 9 litros de bacteria *pseudomona* estabilizada
- Reactor biológico piloto
- Sedimentador secundario piloto
- Filtro de grava y de carbón activado

3.4.2.2. Procedimiento

El primer paso fue instalar la bomba de aireación sumergible en el reactor biológico piloto, de 40 litros de capacidad (figura 3.21), para luego inocular la bacteria estabilizada (figura 3.22) y simular el proceso de tratamiento a una escala superior a la de la experimentación con las bacterias detalla con anterioridad. El siguiente procedimiento fue ingresar al sistema agua residual fresca (figura 3.23) para que el proceso se encargue de remover tanto carga orgánica como tensoactivos; que son la principal fuente de problema a solucionar. Finalmente el proceso encargado de separar por sedimentación los remanentes sólidos suspendidos (figura 3.24), sirven para clarificar el agua residual tratada luego del proceso biológico.



Figura 3.21. Instalación de la Bomba de Aireación Sumergible



Figura 3.22. Inoculación de Bacterias al Reactor Biológico

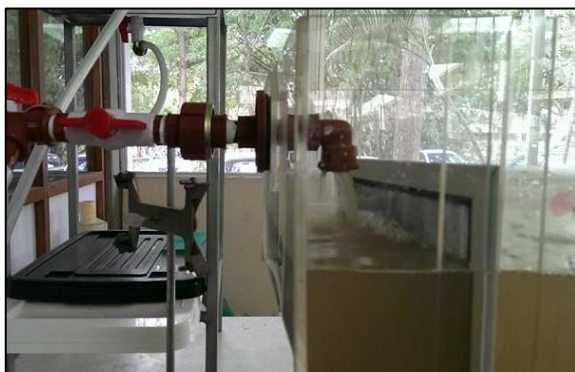


Figura 3.23. Afluente de Agua Residual Fresca



Figura 3.24. Clarificación del agua en el Sedimentador Secundario

3.5. Diseño del Sistema para el Tratamiento de los Efluentes

Para el tratamiento de las aguas residuales industriales, se ha elegido diseñar 4 procesos, el cual consta de una rejilla de desbaste con perforaciones circulares, separador de aceites y grasas, reactor biológico aeróbico de lodos activados y de un sedimentador circular secundario. Además de un sistema con el que ya cuenta la empresa, que consta de dos filtros y una bomba (P-4). Los filtros son de acero inoxidable, uno lleno de grava (filtro 1) y el otro de carbón activado (filtro 2). También se incluye el diseño de 3 bombas distribuidas en el proceso de la siguiente manera: una bomba de aireación (P-1) que cumple la función de ingresar oxígeno al reactor, otra para la recirculación de lodos (P-3) desde el sedimentador circular secundario hacia el reactor biológico por la corriente R, y la última para la remoción de lodos en exceso del tratamiento secundario (P-2), por la corriente L. El diseño de la planta de tratamiento se muestra en la figura 3.25.

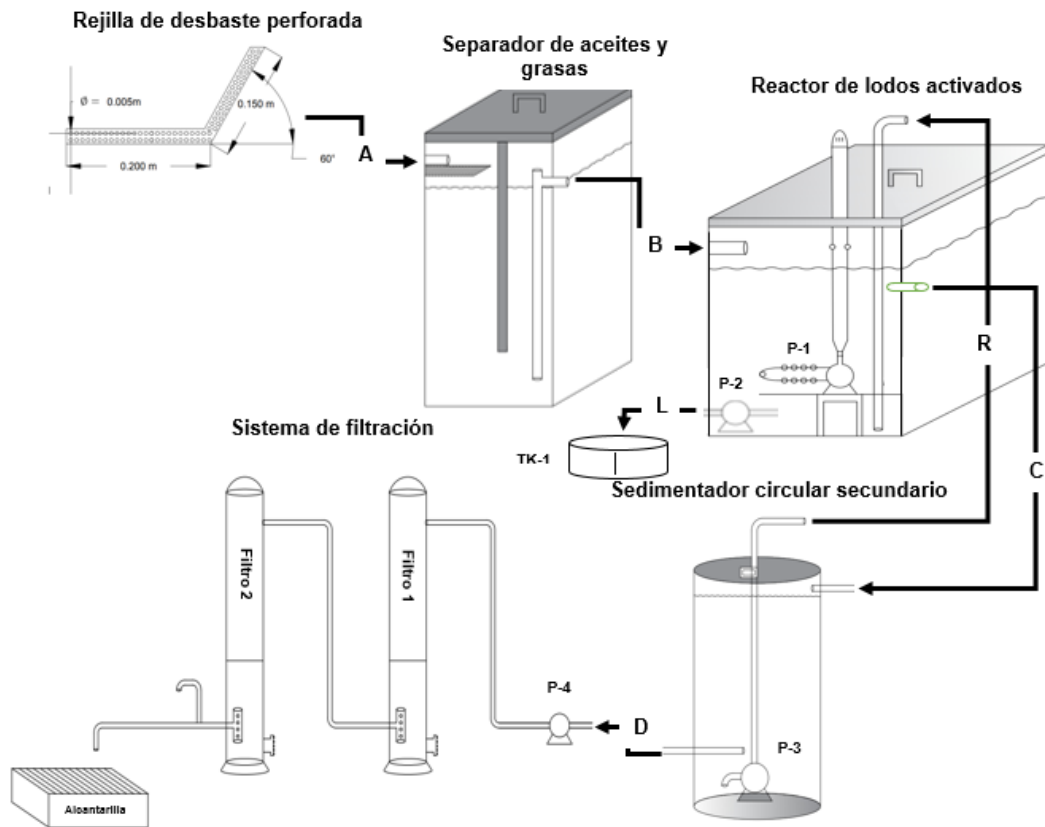


Figura 3.25. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

El caudal promedio de diseño es de $6,79 \text{ m}^3/\text{d}$, en el cual se va a considerar un factor de seguridad de un 15%, para determinar el caudal de afluente al proceso de tratamiento.

$$Q_0 = 1,15Q_{Prom} \quad (2.22)$$

$$Q_0 = 1,15(6,79)$$

$$Q_0 = 8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

3.5.1. Pretratamiento

Diseño de la rejilla de desbaste con perforaciones circulares

La rejilla con perforaciones circulares (figura 3.26), es la encargada de separar de la matriz de agua los sólidos como tapas e hilos de yute, que puedan obstruir equipos (bombas sumergibles) que conforman el proceso.

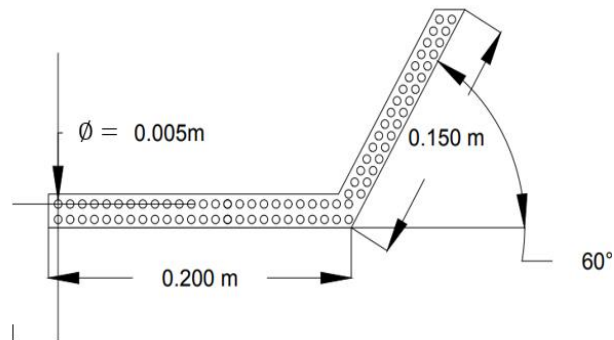


Figura 3.26. Rejilla de desbaste con perforaciones circulares

Diseño del separador de aceites y grasas

Este proceso se caracteriza por realizar un proceso físico, en el cual dos líquidos inmiscibles se separan por diferencia de densidades, reduciendo de esta manera la carga orgánica contenida en los aceites y grasas incluidas en los efluentes de agua residual; además de favorecer próximos tratamientos, a desarrollarse con mejores eficiencias. El separador se presenta en la figura 3.27, el cual fue diseñado en base al caudal del efluente de agua a tratar.

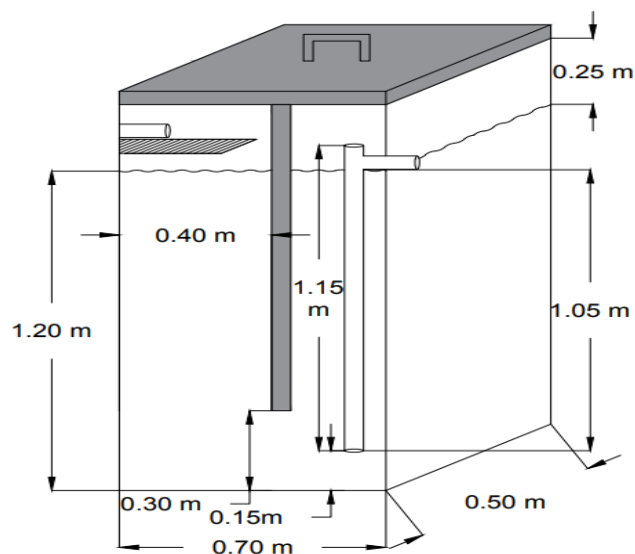
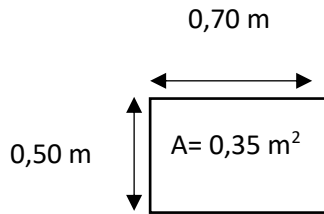


Figura 3.27. Separador de aceites y grasas

- **Volumen del separador**



$$V = Q_0 T_{io} \quad (2.2)$$

$$V = (8) \left(\frac{75,6}{60 \times 24} \right)$$

$$V = 0,420 \text{ m}^3$$

- **Altura del separador**

$$H = \frac{V}{A} \quad (2.3)$$

$$H = \frac{0,420}{0,350}$$

$$H = 1,20 \text{ m}$$

3.5.2. Tratamiento Primario

El tratamiento primario es el encargado de eliminar los restos de sólidos que pudiesen haber pasado después del pretratamiento, por medios físicos debido a las partículas en suspensión.

Diseño del sedimentador circular secundario

El sedimentador circular (figura 3.28), cumple la función de clarificar el agua que proviene luego de un tratamiento secundario, con el fin de remover sólidos en suspensión, como lo son algún tipo de restos de lodos.

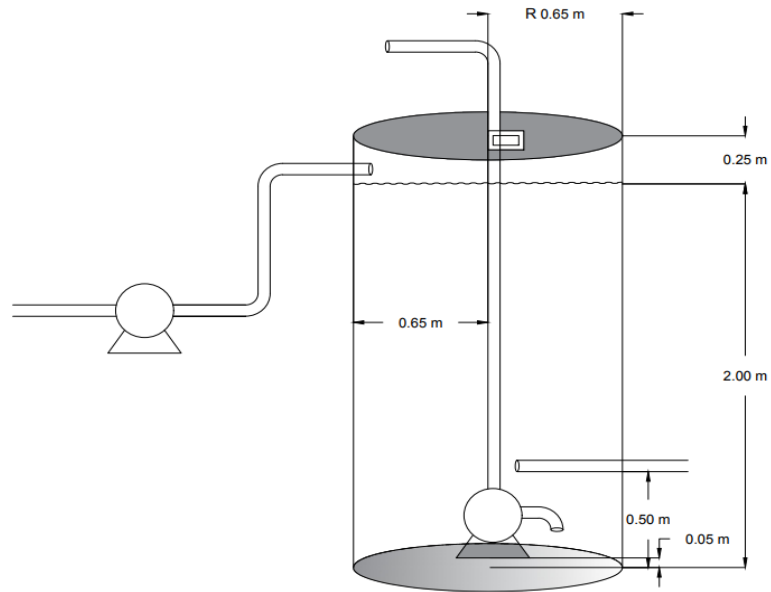


Figura 3.28. Sedimentador Secundario Circular

- Área del sedimentador circular

$$5 \frac{\text{m}}{\text{d}} \leq \text{carga} \leq 33 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

$$A = \frac{Q_0}{\text{carga}} \quad (2.4)$$

$$A = \frac{8}{5}$$

$$A = 1,23 \text{ m}^2$$

- Radio del sedimentador

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2.5)$$

$$r = \sqrt{\frac{1,23}{\pi}}$$

$$r = 0,65 \text{ m}$$

- **Diámetro del sedimentador**

$$\phi = 2r \quad (2.6)$$

$$\phi = 2(0,65)$$

$$\phi = 1,30 \text{ m}$$

- **Volumen del sedimentador**

Para diámetros $< 12 \text{ m}$; $2 \leq P \leq 3 \text{ m}$

$$V = AP \quad (2.7)$$

$$V = (1,30)(2)$$

$$V = 2,45 \text{ m}^3$$

- **Altura de reparto**

$$H_{\text{reparto}} = 0,25P \quad (2.8)$$

$$H_{\text{reparto}} = 0,25(2)$$

$$H_{\text{reparto}} = 0,50 \text{ m}$$

- **Tiempo de retención**

$$T_{\text{HR}} = \frac{Q}{V} \quad (2.9)$$

$$T_{\text{HR}} = \frac{8}{2,45}$$

$$T_{\text{HR}} = 3,3 \text{ h}$$

3.5.3. Tratamiento Secundario

En el tratamiento secundario se busca eliminar partículas disueltas así como coloidales. Este tratamiento puede incluir un proceso químico o biológico que se realiza por oxidación de materia orgánica mediante una vía aerobia; en este caso un proceso de lodos activos como lo muestra la figura 3.29.

Diseño de un reactor biológico de lodos activados con aireación prolongada

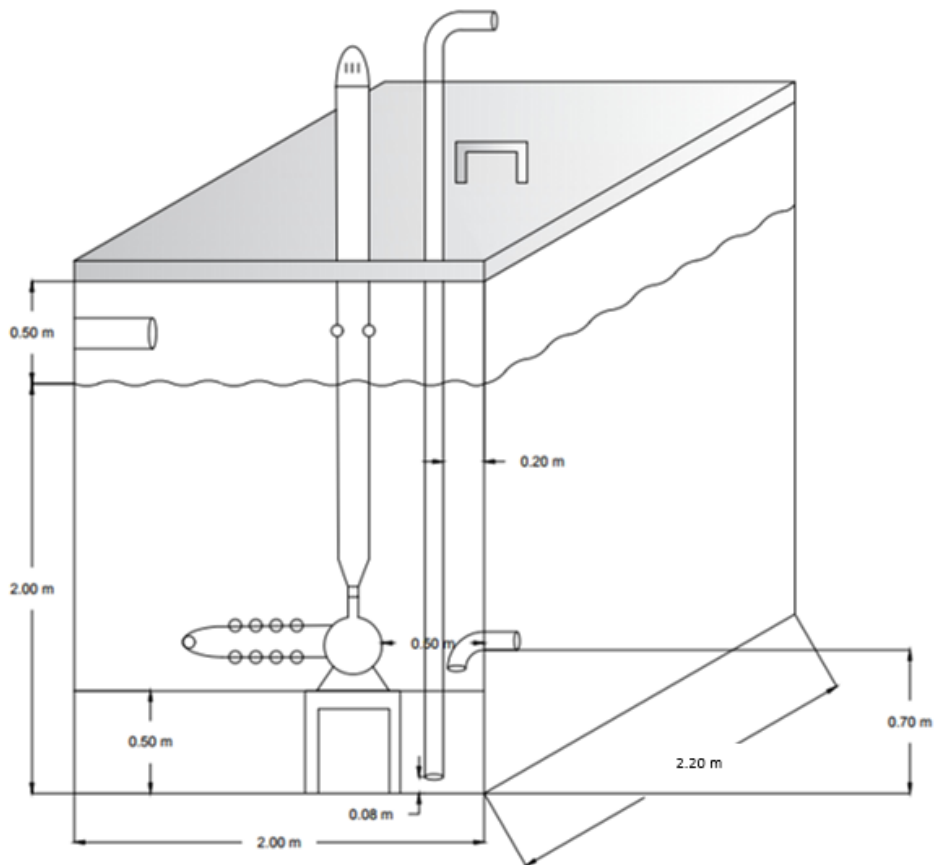


Figura 3.29. Reactor de lodos activados

Determinación de datos para el diseño:

- Velocidad específica de formación de biomasa $\mu_m = 0,5\mu$:

$$\mu_m = 2 \times \frac{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}{t} \quad (2.23)$$

$$\mu_m = 2 \times \frac{\ln\left(\frac{2,38 \times 10^{14}}{5,17 \times 10^4}\right)}{8}$$

$$\mu_m = 5,56 \text{ d}^{-1}$$

- Constante de saturación del sustrato:

$$K_s = \frac{S - 0,5S}{0,5} \quad (2.24)$$

$$K_s = \frac{45 - 0,5(45)}{0,5}$$

$$K_s = 45 \frac{\text{mg DBO}_5}{L}$$

- El valor de coeficiente de crecimiento bacteriano (Y), para procesos aeróbicos debe encontrarse entre $0,4 \leq Y \leq 0,8$. Para diseño se escogerá un valor de $Y=0,54$ mg SSV/ mg DB5 consumida

$$K_d = 0,18 \text{ d}^{-1}$$

$$X_w = 8000 \text{ mg SSV/L}$$

$$Q_0 = 8 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$S_0 = 2664 \text{ mg DBO}_5/\text{L}$$

$$S = 45 \text{ mg DBO}_5/\text{L}$$

$$X = 4000 \text{ mg SSV/L}$$

- **Tiempo de retención hidráulica celular**

$$T_w = \frac{1}{\mu_m - K_d} \quad (2.10)$$

$$T_w = \frac{1}{5,56 - 0,18}$$

$$T_w = 0,19 \text{ d}$$

- **Tiempo de retención celular**

$$10 < FS < 80$$

$$FS_{\text{diseño}} = 45$$

$$T_x = FST_w \quad (2.11)$$

$$T_x = (45)(0,19)$$

$$T_x = 8,55 \text{ d}$$

- **Concentración de materia orgánica**

$$S_s = S_{cal} = \frac{K_s(1 + T_x K_d)}{T_x(\mu_m - K_d)^{-1}} \quad (2.12)$$

$$S_s = S_{cal} = \frac{(45)(1 + (8,55)(0,18))}{(8,55)(5,56 - 0,18)^{-1}}$$

$$S_s = S_{cal} = 71,89 \frac{\text{mgDBO}_5}{L}$$

Para continuar con el cálculo se debe cumplir que $S_{cal} < S_{\text{máx}}$, de lo contrario se debe cambiar el valor del factor de seguridad para el tiempo de retención celular, y como $71,89 \frac{\text{mgDBO}_5}{L} < 200 \frac{\text{mgDBO}_5}{L}$ se continua con el cálculo de diseño.

- **Tiempo de retención hidráulica**

$$T_{HR} = Y \frac{T_x}{X} \left[\frac{S_0}{1 + T_x K_d} - \frac{K_s}{T_x \mu_m - (1 + T_x K_d)} \right] \quad (2.13)$$

$$T_{HR} = (0,54) \left(\frac{8,55}{4000} \right) \left[\frac{2664}{1 + (8,55)(0,18)} - \frac{0,7}{(8,55)(5,56) - (1 + (8,55)(0,18))} \right]$$

$$T_{HR} = 1,2 \text{ d} = 28,8 \text{ h}$$

- **Volumen del reactor**

$$V = Q_0 T_{HR} \quad (2.14)$$

$$V = (8)(1,2)$$

$$V = 9,6 \text{ m}^3$$

- **Carga másica $\frac{F}{M}$**

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{T_{HR} X} \quad (2.15)$$

$$\frac{F}{M} = \frac{2664}{(1,2)(4000)}$$

$$\frac{F}{M} = 0,56 \frac{\text{mgDBO}_5}{\text{mgSSV d}}$$

- **Caudal de purga**

$$Q_w = \frac{VX}{T_x X_w} \quad (2.16)$$

$$Q_w = \frac{(9,6)(4000)}{(8,55)(8000)}$$

$$Q_w = 0,561 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

- **Caudal de oxígeno necesario**

$$Q_{O_2} = Q_0(S_0 - S) - 1,42Q_w X_w \quad (2.17)$$

$$Q_{O_2} = (8)(2664 - 45) - 1,42(0,561)(8000)$$

$$Q_{O_2} = 14579,04 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

- **Relación de recirculación**

$$R = \frac{X(T_X - T_{HR})}{T_x(X_w - X)} \quad (2.18)$$

$$R = \frac{(4000)(8,55 - 1,2)}{(8,55)(8000 - 4000)}$$

$$R = 0,86$$

- **Caudal de recirculación**

$$Q_R = RQ_0 \quad (2.19)$$

$$Q_R = (0,86)(8)$$

$$Q_R = 6,88 \frac{m^3}{d}$$

- **Caudal de salida**

$$Q_S = Q_0 - Q_w \quad (2.20)$$

$$Q_S = 8 - 0,561$$

$$Q_S = 7,44 \frac{m^3}{d}$$

3.6. Costos

El costo de una planta de tratamiento de aguas residuales depende de varios factores importantes a considerar, tales como el precio de construcción, así como de respectivos localización. Existe una relación entre los costos del pasado con los costos actuales, mediante índices para los costos de construcción implementados por Engineering News Record, como se indican en la gráfica a continuación.

Tabla 3.4. Índice de Costos por Años

Año	Índice de Costo
1973	100
1977	2577
1998	5995

Fuente: Romero, 2010

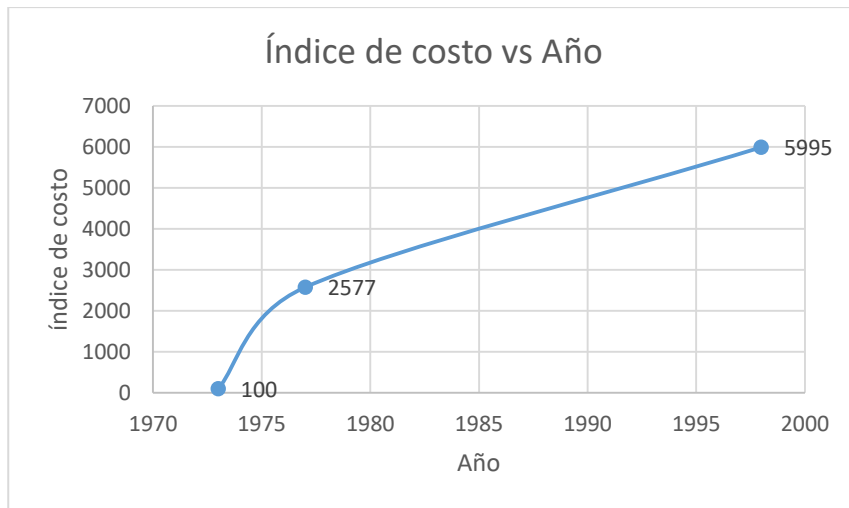


Figura 3.30. Gráfica de Índice de costo vs Año

Pendiente	162,761905
-----------	------------

- Cálculo de índice de costo del año actual: 2017

$$\text{índice}_{actual} = 162,76\text{Año}_{actual} - 319203,29 \quad (3.1)$$

$$\text{índice}_{actual} = 162,76(2017) - 319203,29$$

$$\text{índice}_{2017} = 9083,63$$

- Ecuación para calcular el costo de construcción a cualquier año

$$\text{Costo}_{\text{actual}} = \frac{(\text{Costo año de referencia})(\text{índice actual})}{\text{índice del año de referencia}} \quad (3.2)$$

3.6.1. Costos de Diseño y Montaje

La estimación de costos de diseño serán tomados en cuenta para años pasados, los cuales deberán ser llevado a el año presente (2017), para tener conocimiento del valor de inversión. Donde C, es el costo en dólares y Q es el caudal de diseño.

Tabla 3.5. Costos en el año 1978, para diferentes sistemas de tratamiento

Proceso de tratamiento de aguas residuales industriales	Costo en dólares	
Separador de Aceites y grasas	$C_{1978}=123Q^{0,76}$	(3.3)
Lodos activados	$C_{1978}=1076Q^{0,75}$	(3.4)
Sedimentador secundario	$C_{1978}=375Q^{0,70}$	(3.5)
Rejilla con perforaciones circulares	$C_{2017}= 150,00$	(3.6)
2 Bombas sumergibles de ½ HP	$C_{2017}= 500,00$	(3.7)
1 Bomba centrífuga de ½ HP	$C_{2017}= 112,00$	(3.8)

Fuente: Jairo, 2010

$$C_{\text{diseño y montaje}} = C_{\text{Sep. a/g}} + C_{LA} + C_{SS} \quad (3.9)$$

$$C_{\text{diseño y montaje}} = 123(8)^{0,76} + 1076(8)^{0,75} + 375(8)^{0,70}$$

$$C_{T_{1978}} = \$ 7323,39$$

$$\text{Costo}_{2017} = \frac{(7323,39)(9083,63)}{2735,99}$$

$$\text{Costo}_{2017} = \$ 24314,04$$

$$C_{T_{\text{diseño y montaje}}} = C_{2017} + C_{\text{rejilla}} + C_{2 \text{ bombas sumergibles}} + C_{\text{bomba centrífuga}} \quad (3.10)$$

$$C_{T_{\text{diseño y montaje}}} = 24314,04 + 150,00 + 500,00 + 112,00$$

$$C_{T_{\text{diseño y montaje}}} = \$ 25076,04$$

3.6.2. Costos de Operación y Mantenimiento

Los mantenimientos se harán mes a mes, pero se determinará el costo total trimestral de operación y mantenimiento, ya que la empresa así lo requiere, por motivos de planifican en sus flujo de caja.

Tabla 3.6. Costos en el año 1977, para diferentes sistemas de tratamiento

Sistema de Tratamiento	Costo en dólares de 1977	
Separador de Aceites y grasas	$C=11,02Q^{1,01}$	(3.11)
Lodos activados	$C=30,30Q^{0,96}$	(3.12)
Sedimentador secundario	$C=11,02Q^{1,01}$	(3.13)

Fuente: Jairo, 2010

$$C_{\text{operación y mantenimiento}} = C_{\text{Sep. a/g}} + C_{LA} + C_{SS} \quad (3.14)$$

$$C_{\text{operación y mantenimiento}} = 22,04(8)^{1,01} + 30,30(8)^{0,96}$$

$$C_{1977} = \$ 403,08$$

$$Costo_{2017} = \frac{(403,08)(9083,63)}{5995}$$

$$Costo_{2017} = \$ 610,74$$

3.7. Justificación de la elección del Diseño

Como ya se explicó en el capítulo 2 existen un sin número de sistemas de tratamientos para efluentes industriales, estos se pueden dividir en dos grandes grupos como lo mostramos a continuación:

- Tratamientos Biológicos Convencionales, este tipo de tratamiento como lo indica su nombre son de fácil operación y muy rentables si se compara la eficiencia de los mismos con los costos de operación y mantenimiento. Por lo general manejan grandes volúmenes de agua a tratar, motivo por el cual necesitan grandes espacios para su correcta operación. Además estos tratamientos se especializan para la remoción de carga orgánica (DBO₅ y DQO), cuando los efluentes poseen compuestos químicos complejos se afecta notoriamente la eficiencia de estos sistemas de tratamientos. Ejemplos de estos sistemas tenemos a las lagunas de oxidación, reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB), humedales y tratamientos por lodos activados
- Tratamientos Físicos-Químicos, estos tratamientos pueden estar conformados por dos etapas. La primera que es de carácter biológico en donde se logra la remoción de la materia orgánica, y la segunda que es de carácter físico, químico o físico-químico, en esta parte se da el tratamiento de compuestos específicos que se desea remover. Estos tipos de sistemas de tratamiento pueden estar conformados solo por un tratamiento fisicoquímico, que es en donde se hace uso de operaciones unitarias como: absorción, adsorción, filtración, floculación-coagulación, oxidación, entre otros. Dependiendo del efluente a tratar estos sistemas de tratamientos pueden ser muy costosos (Romero J, 2010)

Para el tratamiento de efluentes industriales con altas concentraciones de tensoactivos y surfactantes se han empleado diversas técnicas fisicoquímicas como adsorción, absorción, incineración, sedimentación, decantación, floculación, coagulación, flotación, oxidación, etc. En la actualidad en países como Canadá, España, Inglaterra y Australia se están desarrollando nuevas técnicas para la reducción de niveles de tensoactivos en aguas residuales industriales y domésticas. Ejemplo de aquello son los procesos de oxidación avanzada (AOP), que se caracterizan por su efectividad para el tratamiento de aguas residuales de composiciones variadas, por ser novedosos, viables desde el punto de vista

tecnológico y ambiental, y en algunos casos por la reducción de costos de ciertos métodos de tratamiento (M Crespi, 2000).

Como se explicó en el capítulo 3, el sistema de tratamiento propuesto para los efluentes de la empresa es del tipo biológico convencional (lodos activados) con bacterias aeróbicas (*Pseudomonas*) para la remoción de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) y los tensoactivos. También dicho sistema de tratamiento propuesto cuenta con tratamientos del carácter físico como es el caso de la sedimentación (sedimentador secundario) y filtración (filtro de grava y de carbón activado). En breve se detalla la justificación por el rendimiento, costos y espacios disponible para la selección del sistema de tratamiento propuesto.

3.7.1. Justificación por el Rendimiento

Como se puede observar en los resultados de la experimentación se logró una eficiencia en la remoción de la materia orgánica mayor al 90 %, lo cual un valor confiable de un buen tratamiento y que está relacionado con la realidad, ya que en sistemas de tratamientos de lodos activados se puede llegar alcanzar eficiencias entre el 85 a 95 %. Algo muy parecido ocurre en procesos fisicoquímicos y en tratamientos más modernos como oxidación avanzada, en donde se alcanzan eficiencias muy parecidas, entre el 90 a 98 %.

Se puede concluir que el porcentaje de remoción (rendimiento) no es un factor clave a la hora de la selección del sistema de tratamiento, ya que el rango de eficiencia entre un sistema y otro es muy parecido (85 a 98 %).

3.7.2. Justificación Económica

Los sistemas de tratamientos biológicos convencionales para aguas residuales presentan numerosas ventajas en cuanto a los costos, tanto de instalación como de operación y mantenimiento.

- Es verdad que por lo general estos sistemas debido a sus equipos y etapas de gran tamaño requieren de una fuerte inversión de dinero para su instalación, esto se debe a los grandes volúmenes de agua que se deben tratar a diario, aproximadamente entre 2000 a 6000 m³ (N Salguero, 2012). Esta no es la situación para este proyecto, ya que el caudal que utilizamos para el diseño fue de 8 m³/día, motivo por el cual el tamaño de los equipos va a ser de mucho

menor tamaño y por ende el costo de instalación va a ser muy bajo, aproximadamente de \$ 25076.

- Como podemos observar el costo de mantenimiento es muy bajo, en comparación con otros métodos en donde se utilizan mayor cantidad de equipos y además dependiendo de su modernidad, estos costos de mantenimiento pueden ser muy altos (equipos de última tecnología). En la tabla 3.6 se describe el valor del costo de mantenimiento del sistema propuesto, el cual netamente es debido al mantenimiento de las tres bombas que se utilizan en el tratamiento.
- En sistemas de tratamientos biológicos convencionales los costos de operación son muy bajos, ya que por lo general no se utilizan reactivos y cuando el sistema ya está estabilizado se requiere de poco personal para la operación de los mismos. En sistemas fisicoquímicos el costo de operación es mal alto debido a la utilización de reactivos, como es el caso de coagulantes, floculantes, sustancias para adsorción, absorción, etc. El sistema propuesto tiene un tratamiento de carácter físico, como lo es la etapa de filtración y sedimentación, pero como ya se explicó en los manuales de operación y mantenimiento, esta etapa de filtrado es opcional, se sugiere que se opere los filtros 5 horas al día, por lo cual el gasto de carbón activado y de grava es mucho menor a otros sistemas de tratamientos. En el caso de métodos más actuales los costos de operación pueden ser más altos, como es el caso de la fotocátalisis heterogénea, la cual es un proceso de oxidación avanzada y en donde se utilizan catalizadores, los cuales pueden estar presentes de forma sólida, o en suspensión acuosa o gaseosa, tales como trióxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de zinc (ZnO), trióxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de titanio (TiO). Además estos tratamientos de oxidación avanzada requieren de más reactivos como es el caso del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) Y ozono (O_3), los cuales se utilizan como agentes oxidantes. Otro factor que incrementa el costo de operación de estos tratamientos es que se requiere de personal capacitado (operadores y supervisores) para una correcta operación de los mismos (J Carbajal, 2011).

Con lo antes expuesto económicamente hablando, el sistema de tratamiento para los efluentes de la empresa debe ser del tipo biológico convencional. A continuación se muestra la tabla 3.7, en donde se describen diversos sistemas de tratamientos biológicos convencionales en función de los costos y eficiencia de los mismos.

Tabla 3.7. Costos y Eficiencias de Sistemas de Tratamientos Biológicos.

Sistema de Tratamiento	Reducción de DBO (%)	Reducción de SST (%)	Costos de Inversión (\$/Habs)	Costo de Operación y Mantenimiento (\$/año/Habs)
Lodo Activado Tradicional	85 - 95	80 - 90	80 - 100	4 – 5
Lagunas de Oxidación	70 - 90	70 - 90	20 - 40	0,2 – 0,4
Reactores UASB	60 -80	70 -80	20 -40	1 – 1,5
Filtro Anaeróbico	70 -80	70 -80	10 - 25	0,8 – 1
UASB + Filtro Anaeróbico	90 -95	80 - 95	5 - 30	1 – 1,5
Humedales	80 - 90	80 - 90	40 - 60	2 – 4

Fuente: Von Sperling & Chernicharo (2005) y Libhaber (2008)

Según lo descrito en la tabla 3.8, el tratamiento por lodos activado es el que resulta más costoso en comparación con otros métodos de tratamiento biológicos, pero más adelante en esta misma sección se demuestra porque dicho tratamiento es el más adecuado para el tratamiento de los efluentes de la empresa sometida a estudio.

Cabe recalcar que para la selección del sistema de tratamiento propuesto no se consideró ningún tratamiento de carácter anaeróbico, esto se debe a que actualmente en el mercado ecuatoriano no existen bacterias anaeróbicas que se encarguen de la reducción de tensoactivos, es decir las Pseudomonas, que son bacterias aeróbicas no podrían desarrollarse en un entorno anaeróbico (reactores UASB y filtros anaeróbicos) y por ende con un sistema anaeróbico no se podrían alcanzar los objetivos trazados para el proyecto. Con lo cual solo quedarían 3 métodos posibles (lodos activados, lagunas de oxidación y humedales).

1.7.3. Justificación Espacial

En cuanto a la justificación espacial, se realizó una inspección visual de la planta y además se conversó con personal de la misma, para así poder determinar posibles espacios en donde se podría ubicar el sistema de tratamiento propuesto. Al final de esta inspección se determinó que no existía espacio físico suficiente para algún

sistema de tratamiento de tamaño considerable, el espacio que se tenía disponible era aproximadamente de 6 m², con lo cual quedan totalmente descartados el sistema de lagunaje y los humedales, además estos sistemas de tratamiento necesitan estar en espacios abiertos para receptor la mayor cantidad de rayos de sol, lo cual es algo imposible que ocurra dentro de una empresa.

En forma de resumen de lo ante expuesto, se determinó que la eficiencia no era un factor que se debiera tomar en cuenta para la selección del sistema de tratamiento propuesto, es decir, las eficiencias de sistemas biológicos, físico-químicos y de oxidación avanzada eran muy parecidos.

En cuanto a los costos si se encontró diferencias significativas, que si afectarían a la selección del sistema de tratamiento para el proyecto. Se llegó a la conclusión que un sistema de tratamiento biológico convencional era más económico que otros sistemas disponibles, ya que estos por lo general no requieren de reactivos, ni de personal muy capacitado. Además como observamos en la sección del manual de operación no se requiere de un operador para la operación del sistema de tratamiento propuesto, solo se necesita de un personal que por las mañanas realice el correcto encendido de las bombas y que por lo menos revise una vez al día como está funcionando el sistema, con lo cual la empresa no tendría que gastar en sueldos destinados a algún personal para la operación del sistema de tratamiento. Finalmente en cuanto a la justificación espacial, se llegó a la conclusión que no se podía utilizar algún sistema de tratamiento de gran tamaño, ya que la empresa solo disponía de 6 m², motivo por el cual un tratamiento de lodos activado sería la alternativa perfecta, ya que el reactor biológico y sedimentador secundario estarían ubicados debajo del suelo de la planta, sólo estaría visible la parte de la tapa de la cámara de los mismos y en los 6 m² disponibles se ubicarían perfectamente el panel de control y los filtros de grava y de carbón activado respectivamente.

3.8. Evaluación de Impacto Ambiental.

En primer lugar se debe realizar una identificación de las potenciales fuentes que pueden causar una afectación en el medio ambiente. Por lo general estas afectaciones alteran los tres recursos naturales más importante sobre la tierra como son el agua, suelo y aire. Se debe realizar una identificación y análisis de impactos a lo largo de la etapa constructiva, la etapa operacional y luego de la culminación de la vida útil del sistema de tratamiento propuesto (Osorio R. F & Torres R. J, 2011)

En la etapa constructiva del proyecto se pueden generar ligeras afectaciones, como por ejemplo la generación de ruidos y de material particulado al momento de realizar la excavación y construcción de la cámara del reactor biológico y sedimentador secundario respectivamente. En la etapa operacional se deben identificar los impactos generados en las diferentes etapas del proceso de tratamiento. En la etapa de desbaste se presenta una acumulación de desechos sólidos (tapas, plásticos, hilos, papel, cartón, etc.). En el caso del reactor biológico y sedimentador secundario ocurre una generación de lodos, los cuales más adelante se va a detallar su adecuado manejo. Otra afectación que se genera en la etapa operacional del sistema de tratamiento propuesto es la producción de ruidos de las bombas, cabe recalcar que ese nivel de ruido es muy bajo ya que el tamaño de las bombas es muy pequeño.

Ya una vez identificado los posibles impactos en la etapa constructiva y operacional del sistema de tratamiento propuesto, además dado su pequeño tamaño, ubicación (dentro de la empresa), fácil construcción y la utilización de pocos equipos a lo largo de las diferentes etapas del tratamiento se puede llegar a la conclusión que no existen afectaciones severas sobre el medio ambiente. En la tabla 3.8 se realiza una valoración de los impactos generados por el sistema de tratamiento propuesto.

Tabla 3.8. Valoración de Impactos Generados por el Tratamiento Propuesto.

Etapas	Ruido				Desechos Sólidos				Material Particulado			
	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Constructiva		X				X				X		
Desbaste	X					X			X			
Reactor Biológico		X					X		X			
Sedimentador Secundario		X					X		X			
Filtrado		X				X			X			

Fuente: Freire E. P, 2012

3.8.1. Manejo de Lodos

Una vez que se realiza la etapa de remoción mediante procesos bacterianos, toda la materia orgánica que se ha degradado se acumula en el reactor biológico y sedimentador secundario en forma de lodos. Una vez que el nivel de estos lodos sobrepasa con lo recomendado se deberá realizar la evacuación hacia un tanque que servirá para la acumulación de los mismos (seguir el manual de mantenimiento). Si el tanque acumulador de lodos genera malos olores se deberá utilizar un poco de cal para así poder aminorar dichos olores. Como ya se explicó en el capítulo 2, dependiendo del tipo de efluente a tratar los procesos biológicos con aireación prolongada generan lodos con altos niveles de nutrientes. En el caso del proyecto la empresa como se dedica a la fabricación de detergentes, sus efluentes poseen concentraciones de fósforo, con lo cual los lodos que se generen en el sistema de tratamiento propuesto contendrán nutrientes (fósforo). Así que los lodos removidos del reactor biológico y sedimentador secundario pueden ser secados y reutilizados como compostaje (J Carbajal, 2011).

Como ya se explicó con anterioridad los lodos estabilizados contienen nutrientes, con lo cual estos se pueden aprovechar para acondicionar un suelo para cultivo. Para que un lodo estabilizado se pueda aplicar directamente sobre el suelo se le tiene que remover por lo menos el 55% de los sólidos volátiles suspendidos. Además el terreno deberá tener una pendiente inferior al 6% y su suelo deberá tener una tasa de infiltración entre 1 a 6 cm/hora con buen drenaje, de composición química alcalina o neutra. El nivel freático del terreno deberá estar ubicado por lo menos a 10m de profundidad (Félix A. D & Rikeros G. D, 2015).

En cuanto a la reutilización de los lodos según lo detallado por eso se deberá tomar en cuenta como mínimo los siguientes aspectos:

- Concentración de metales pesados o de algún compuesto contaminante presente en los lodos.
- Cantidad de cationes y capacidad de intercambio iónico en los lodos.
- Tipos de cultivo.
- Forma de riego.

Para culminar la parte del manejo de los lodos generados en el sistema de tratamiento propuesto se recomienda realizar análisis de los mismos, para así poder detectar algún compuesto contaminante o tóxico.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran todos los resultados obtenidos en la realización de este proyecto. Se muestran mediante tablas y gráficas los resultados de la caracterización de las descargas residuales antes y después del tratamiento, así como también los obtenidos en la etapa de experimentación.

4.1. Caracterización antes del Tratamiento

En la tabla 4.1 se detalla el estado de las aguas residuales de la empresa sin pasar por ningún tipo de tratamiento (agua bruta). Los valores que se observan en dicha tabla se obtuvieron mediante análisis en laboratorio.

Tabla 4.1. Caracterización de las aguas residuales antes del tratamiento.

Parámetros		Unidad	Resultados	Límite Máximo Permissible ****
1	Temperatura ***	°C	25,0 – 28,0	< 40,0
2	Oxígeno Disuelto (OD) ***	mg/L	7,07 – 2,05	----
3	Conductividad ***	uS/cm	511 - 450	----
4	Salinidad ***	ppt	0,39 – 0,28	----
5	Turbiedad	NTU	242 - 180	----
6	Potencial de Hidrógeno (pH)***	mg/L	5,62 – 8,60	6 – 9
7	Color **	Pt/Co	300,0 – 400,0	----
8	Fenol **	mg/L	No detectable	0,2
9	Sólidos Suspendidos Totales **	mg/L	10,0 – 30,0	220,0
10	Cinc **	mg/L	0,1 – 0,3	10,0
11	Aceites y Grasas *	mg/L	8,0 – 36,3	70,0
12	Demanda Bioquímica de Oxígeno *	mg/L	2664 - 2260	250,0
13	Demanda Química de Oxígeno *	mg/L	4964 - 3298	500,0
14	Tensoactivos *	mg/L	36,0 – 12,6	2,0
* Parámetro medido en los laboratorios Grupo Químico Marcos S.A				
** Parámetro medido por parte de la Empresa				
*** Parámetro medido en El laboratorio de Aguas de la ESPOL				
**** Obtenido del TULSMA				

Fuente: TULSMA. Elaboración: Los Autores.

Los parámetros del 6 al 14 presentados en la tabla son los que el municipio de Guayaquil le exige a una empresa que se dedica a la fabricación de productos de limpieza para poder descargar sus aguas residuales industriales hacia el alcantarillado público. Como se muestra en dicha tabla parámetros como pH, DBO₅, DQO y tensoactivos no cumplen con los límites máximos permisibles presentados en el TULSMA.

4.2. Experimentación

Como ya se explicó en el capítulo 3 de metodología, la experimentación del proyecto consistió en simular dos reactores biológicos de lodos activados. En un reactor se colocó la bacteria *pseudomona* y en el otro reactor la bacteria *Bacillus sp*, las cuales van a encargarse del tratamiento de los efluentes de la empresa. En la tabla 4.2 y la gráfica 4.1 se detalla el proceso de experimentación para la bacteria *Bacillus sp*, mientras que en la tabla 4.3 y grafica 4.2 se detalla el proceso de experimentación para la bacteria *Pseudomona*, en función de ciertos parámetros que se midieron para tener un control en dicho ensayo.

Tabla 4.2. Experimentación con la Bacteria *Bacillus SP.*

Día	DQO* (mg/L)	No. Bacterias** (UFC)	Biomasa*** (ml)	pH*	T * (°C)	Masa de bacteria agregada**** (g)
0	3297,80	1,3x10 ⁴	-----	7,10	26	4
1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3	5980,00	1,0 x10 ⁷	27	7,06	32	4
4	4432,20	3,9 x10 ⁷	56	6,83	29	4
5	3792,23	6,8 x10 ⁸	102	7,55	30	4
6	2714,45	1,1x10 ¹¹	215	7,99	28	4
7	2200,25	3,3 x10 ¹³	290	8,45	29	4
8	-----	-----	-----	-----	-----	4
9	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10	804,15	9,9 x10 ¹⁴	410	8,56	29	4
11	646,25	6,7 x10 ¹⁴	476	8,40	30	4
12	465,42	8,8 x10 ¹⁵	565	8,24	30	4
13	367,34	7,0 x10 ¹⁴	612	8,01	30	4
14	292,38	1,2 x10 ¹⁴	697	8,15	30	-----

* Parámetro medido en el laboratorio de Aguas de la ESPOL

** Parámetro medido en la empresa Quality Corporation S.A.

*** Parámetro medido en El laboratorio de Servicios Generales ESPOL

**** Parámetro medido en el Laboratorio de Hidrocarburos ESPOL

Elaboración: Los Autores.

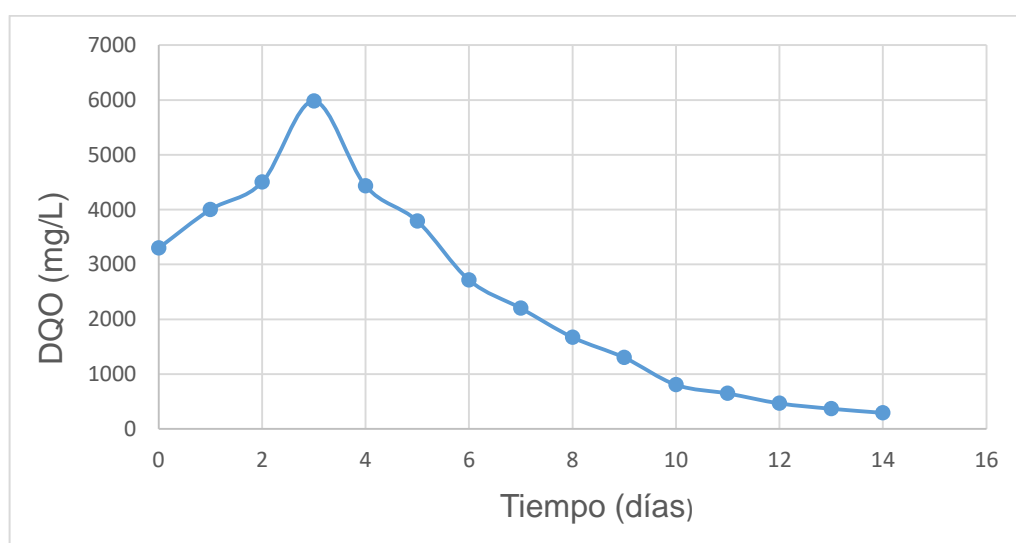


Figura 4.1. DQO (mg/L) Vs Tiempo (Días) - *Bacillus SP.*

Elaboración: Los Autores.

Tabla 4.3. Experimentación con la Bacteria *Pseudomona*.

Día	DQO* (mg/L)	No. Bacterias** (UFC)	Biomasa*** (ml)	pH*	T * (°C)	Masa de bacteria agregada**** (g)
0	3297,80	5,2x10 ⁴	-----	7,10	26	4
1	-----	-----	-----	-----	-----	-----
2	-----	-----	-----	-----	-----	-----
3	4500,00	8,5 x10 ⁶	30	7,02	31	4
4	3613,00	2,2 x10 ⁷	76	7,62	29	4
5	4553,99	5,9 x10 ⁹	102	7,99	29	4
6	2686,15	8,6 x10 ¹²	236	8,01	30	4
7	2200,25	2,3 x10 ¹⁴	320	7,50	29	4
8	-----	-----	-----	-----	-----	4
9	-----	-----	-----	-----	-----	-----
10	794,72	3,4 x10 ¹⁵	502	8,10	30	4
11	610,25	9,5 x10 ¹⁵	579	7,45	30	4
12	426,12	2,4 x10 ¹⁶	611	7,98	30	4
13	215,22	5,5 x10 ¹⁶	699	8,01	30	4
14	162,67	9,2 x10 ¹⁶	801	7,93	29	-----

* Parámetro medido en el laboratorio de Aguas de la ESPOL

** Parámetro medido en la empresa Quality Corporation S.A.

*** Parámetro medido en El laboratorio de Servicios Generales ESPOL

**** Parámetro medido en el Laboratorio de Hidrocarburos ESPOL

Elaboración: Los Autores.

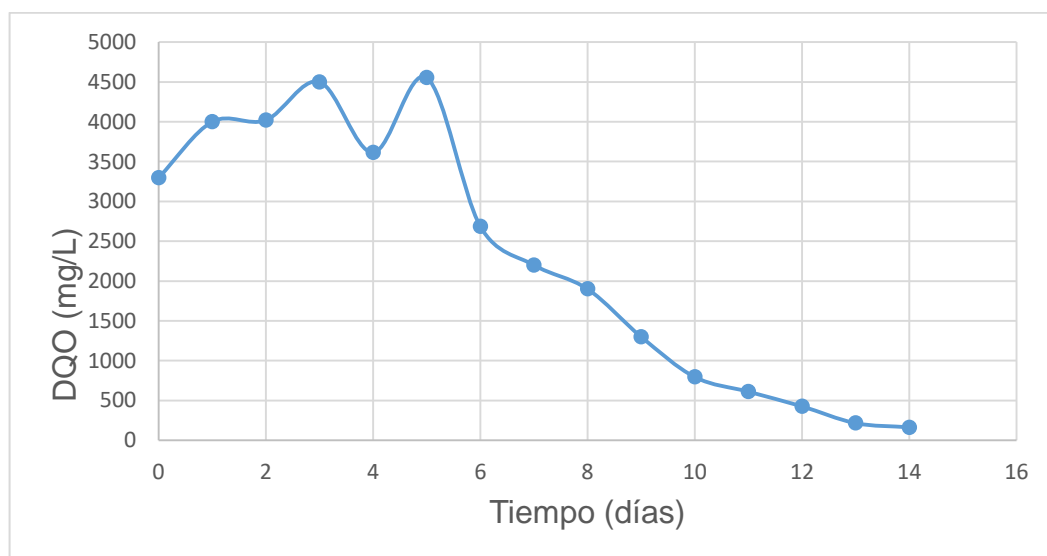


Figura 4.2. DQO (mg/L) Vs Tiempo (Días) – *Pseudomona*.

Elaboración: Los Autores.

4.3. Caracterización después del Tratamiento

Una vez terminada la etapa de experimentación (estabilización de las bacterias) se procedió a enviar muestras de agua tratada de cada reactor simulado al laboratorio “Grupo Químico Marcos”. Ya con estos resultados se pudo determinar cuál de los dos escenarios era el más indicado para el sistema de tratamiento propuesto. En la tabla 4.4 mostrada a continuación se presentan los resultados obtenidos después del tratamiento bacteriano.

Tabla 4.4. Caracterización de las aguas residuales después del Tratamiento

Parámetros	Unidad	Resultados		Límite Máximo Permisible ***
		<i>Pseudomonas</i>	<i>Bacillus sp</i>	
Temperatura **	°C	28,0 – 30,0	28,0 – 30,0	< 40,0
Potencial de Hidrógeno (pH)**	mg/L	7 – 8	7,5 – 8,5	6 – 9
Sólidos Suspendidos Totales **	mg/L			220,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno *	mg/L	45,0	39,96	250,0
Demanda Química de Oxígeno *	mg/L	162,67	292,38	500,0
Tensoactivos *	mg/L	0,25	2,55	2,0
* Parámetro medido en los laboratorios Grupo Químico Marcos S.A				
** Parámetro medido en El laboratorio de Aguas de la ESPOL				
*** Obtenido del TULSMA				

Fuente: TULSMA. Elaboración: Los Autores.

Cabe señalar que los otros parámetros que exige el municipio de Guayaquil como aceites y grasas, cinc y fenoles no se los analizo, ya que como se observa en la tabla 4.1 dichos parámetros están dentro del límite máximo permisible y el proceso de lodo activados no aumenta la concentración de los mismos.

En cuanto a los resultados después de la simulación del sistema de tratamiento en el prototipo ubicado en el laboratorio CEMA, se obtuvo un valor de concentración de 465 mg/L de DQO.

4.4. Eficiencia del Proceso

Para obtener la eficiencia general del sistema de tratamiento propuesto se puede utilizar la siguiente formula:

$$R(\%) = 100 - \left(\frac{DQO_T}{DQO_0} \times 100 \right) \quad (4.1)$$

En donde el DQO_0 , es el valor del DQO de los efluentes de la empresa (entrada al sistema de tratamiento) y el DQO_T corresponde al valor del DQO después del tratamiento propuesto. Con esta ecuación se establece una relación entre el DQO tratado y el inicial, con lo cual se determina un porcentaje de remoción de la carga orgánica en el sistema de tratamiento propuesto, de igual manera se puede utilizar la concentración inicial y final de los tensoactivos y DBO_5 , para determinar el rendimiento general del proceso.

- Eficiencia con las Pseudomonas:

$$R(\%) = 100 - \left(\frac{DQO_T}{DQO_0} \times 100 \right) = 100 - \left(\frac{162,67}{3297,80} \times 100 \right) = 95,64 \%$$

- Eficiencia con las bacterias Bacillus sp:

$$R(\%) = 100 - \left(\frac{DQO_T}{DQO_0} \times 100 \right) = 100 - \left(\frac{292,38}{3297,80} \times 100 \right) = 91,13 \%$$

En la tabla 4.5 se presentan eficiencias en función de los parámetros que eran objetivos de reducción en el sistema de tratamiento propuesto. También se muestran las concentraciones de estos parámetros al inicio y al final del sistema de tratamiento. Se tomaron los resultados de los análisis del Grupo Químico Marcos (

Tabla 4.5. Eficiencias del Sistema de Tratamiento Propuesto.

Parámetro	Concentración (mg/L)			Eficiencias (%)	
	Inicio	Final		Pseudomonas	Bacillus sp
		Pseudomonas	Bacillus sp		
DBO_5	2664,0	45,0	39,96	98,31	98,5
DQO	3297,8	162,67	292,38	95,64	91,13
Tensoactivos	36,0	0,25	2,55	99,31	92,92

Elaboración: Los Autores

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados experimentales obtenidos, fueron en base a un tiempo de 14 días de proceso continuo. Dicho proceso fue implementado, para la estabilización de las bacterias dentro de las matrices de agua residual. Los resultados se muestran a continuación:

5.1. Caracterización antes del Tratamiento

Los primeros resultados que se obtuvieron en la realización de este proyecto fue la caracterización de los efluentes de la empresa sin ningún tipo de tratamiento. En la tabla 4.1 se detallan 14 parámetros que se analizaron, de los cuales 9 son los que exige el municipio de Guayaquil para poder realizar descargas al alcantarillado público. En esa misma tabla se observa que las concentraciones de parámetros como pH, DBO₅, DQO y tensoactivos no se encuentran dentro de los límites permisibles. La variación del pH se debe a que la empresa realiza la elaboración de diferentes productos de limpieza, los cuales llegan a tener valores de pH ácidos, neutros y alcalinos. Las concentraciones elevadas de DBO₅ y DQO se deben a la presencia de polifosfatos, silicatos o carbonatos, además de sulfato de sodio, carboximetilcelulosa y agentes surfactantes. Estos últimos también son los que provocan que las descargas líquidas residuales de la empresa posean una concentración de tensoactivos que superan al límite máximo permisible.

5.2. Experimentación

En la experimentación se notó claramente que los valores finales luego de 14 días de estabilización del proceso de cada parámetro cuantificado, tuvieron gran similitud entre sí, como se muestra la tabla 4.2 y 4.3. El DQO; indicador principal de monitoreo en la simulación de los reactores, cuya función fue identificar cuál de los dos sistemas de bacterias tuvo mayor eficiencia en la remoción de carga

orgánica, se obtuvieron valores de 292,38 mg/L, para el sistema con bacterias de *Bacillus SP* y 162,67 mg/L, para el sistema con *Pseudomona*. De manera análoga se notó claramente que las cantidades tanto de biomasa como el de crecimiento de bacterias, tuvieron una relación proporcional y a su vez encargados de la reducción del DQO y de los parámetros antes mencionados como se muestran en la figura 5.1 y 5.2.

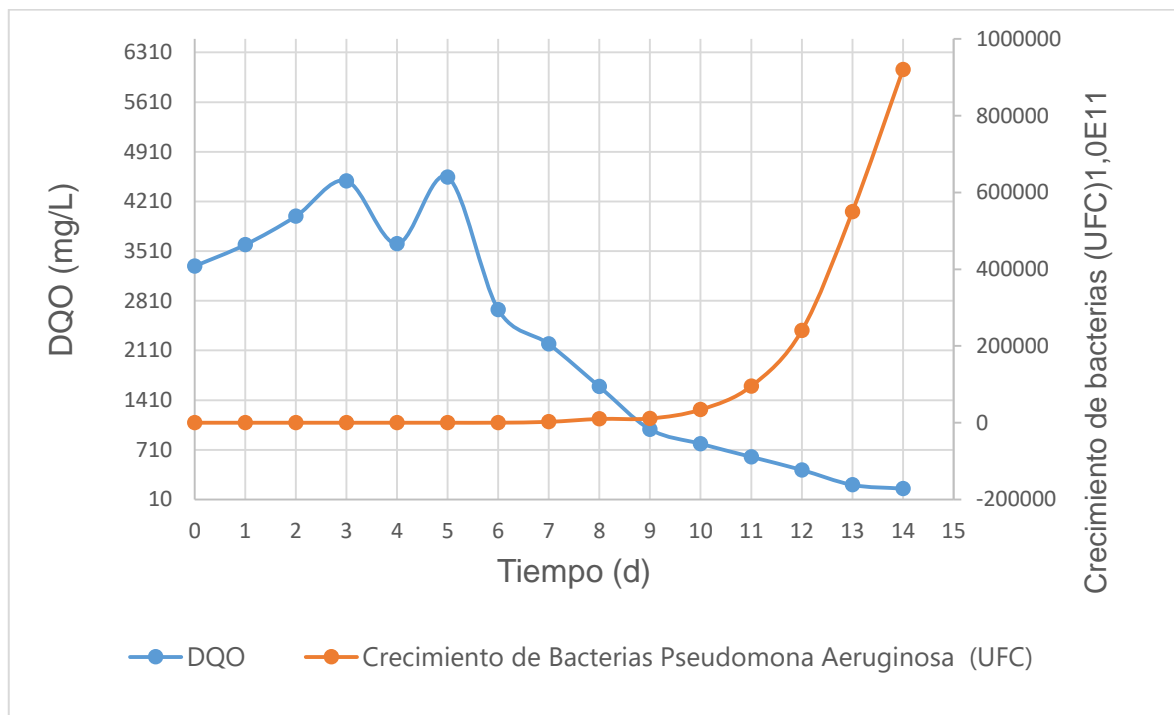


Figura 5.1. DQO y Crecimiento de bacteria *Pseudomona Aeruginosa* vs Tiempo.

Elaboración: Los Autores.

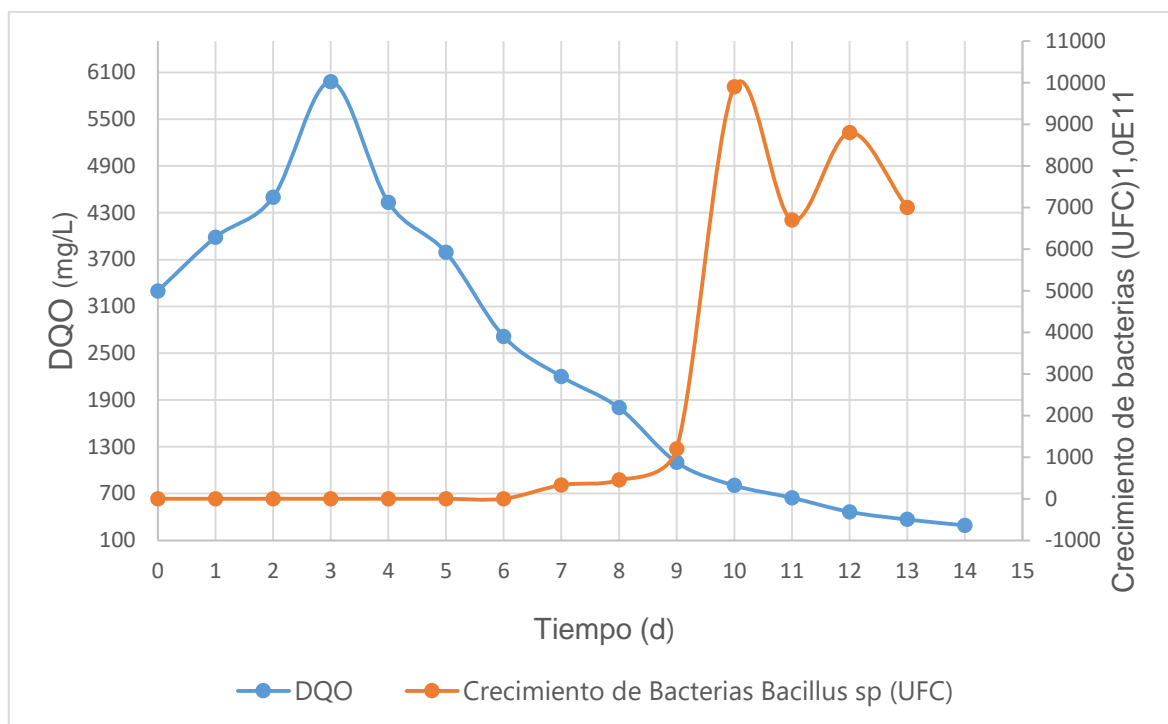


Figura 5.2. DQO y Crecimiento de bacteria *Bacillus sp* vs Tiempo.

Elaboración: Los Autores

Para un crecimiento bacteriano total de *Bacillus SP* se obtuvieron una colonia de $1,2 \times 10^{14}$ UFC (Unidad Formadora de Colonias), generando una biomasa de 697 ml, y un crecimiento bacteriano de *Pseudomonas de* $9,2 \times 10^{16}$ UFC, con una generación de biomasa de 801 ml. Estos resultados obtenidos dependen mucho de un solo indicador, el cual es el pH; con un valor promedio de 7,7 para el sistema con bacterias de *Pseudomonas* y de un valor de 7,85 para el sistema con bacterias de *Bacillus SP*. Este valor determinó en su totalidad el funcionamiento de los prototipos, siendo más eficiente para la degradación de cargas orgánicas y a su vez de tensoactivos, la bacteria *Pseudomonas*, debido a que tanto la oxigenación como las muestras de agua fresca agregadas, siempre se mantuvieron constantes.

En cuanto a la experimentación en el prototipo del laboratorio CEMA se obtuvo un valor de DQO de 465 mg/L después del tratamiento, el cual es un valor más alto del que se obtuvo en la experimentación con las bacterias. Esto se debe a que las dimensiones del prototipo no correspondían a las del sistema propuesto en el proyecto, por ejemplo no se tenía un control en el caudal, tiempo de retención en el reactor y en el caso del sedimentador era del tipo rectangular, no circular como lo propuesto en el proyecto. A pesar de que todos estos factores hayan afectado la

calidad del tratamiento se obtuvo un valor de DQO que está por debajo del límite máximo permisible (< 500 mg/L).

5.3. Caracterización después del Tratamiento

Los resultados finales se presentan en la tabla 4.4. En donde se puede verificar que después del tratamiento con las bacterias, específicamente con la *pseudomona* se logró adecuar los efluentes de la empresa para poder ser descargados al alcantarillado público. Las concentraciones de pH, DBO₅, DQO y tensoactivos de los efluentes después del tratamiento se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles. La característica principal de las *pseudomonas* es la remoción de tensoactivos, es por eso que se obtiene un valor de los mismos tan bajo después del tratamiento (0,25 mg/L).

En cambio las bacterias *Bacillus sp* se caracterizan por ser bacterias mixtas, es decir son una mezcla de dos bacterias, una que se encarga de la remoción de la materia orgánica y otra aparte que se encarga para la reducción de tensoactivos. Al inicio se esperaba mejores resultados con las bacterias *Bacillus sp*, ya que en teoría es un tipo de bacteria con mayor alcance de tratamiento, pero la desventaja de esta es la susceptibilidad a la variación del pH. Como se muestra en la tabla 4.3 y 4.4 los valores del pH fueron de 7 hasta 8,6, lo cual no afectó en nada a las *pseudomonas*, ya que estas trabajan de óptima manera en valores de 6,5 hasta 9. Pero no ocurre lo mismo con las bacterias *Bacillus sp*, ya que estas para poder realizar un buen proceso de remoción de contaminantes deben estar en un pH lo más neutro posible. Este es el motivo del porque con estas bacterias no se pudo llegar a alcanzar la remoción debida de los tensoactivos.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El periodo experimental, ha determinado que el tratamiento fundamental del proceso, se basó en la remoción de contaminantes por dos diferentes bacterias; siendo la más eficiente la *Pseudomona Aeruginosa*. Dicho lapso de tiempo sirvió para la estabilización de la bacteria al medio y para tomar una decisión para la mejor opción de diseño del sistema de tratamiento, con lo cual se llegaron a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

6.1. CONCLUSIONES

1. La empresa dispone de un espacio de 6 m² para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, por lo cual queda descartado un sistema de tratamiento de gran tamaño como lo sería un tratamiento facultativo (laguna de oxidación o humedales).
2. El sistema idóneo para el tratamiento de los efluentes de la empresa, debido a la restricción de financiamiento y espacio de montaje, se concluyó que debía ser un tratamiento aeróbico de lodos activos.
3. Para las condiciones de oxigenación prolongada del medio en el que se desenvuelven las bacterias y debido a las condiciones económicas predispuestas por la empresa, se concluyó que la bomba de oxigenación permanezca encendida durante un periodo de 8 horas por cada día de trabajo (10 horas/día), reduciendo los costos de operación en un 20,54%, cumpliendo con las mismas exigencias requeridas por el sistema de un día laboral completo.

4. El tratamiento biológico más adecuado para el sistema propuesto es a base de las bacterias *pseudomona Aeruginosa*, ya que su resistencia a los cambios en el pH son favorables para una eliminación de sustratos más prolongada, evitando respiraciones endógenas a corto plazo. Como se observa en la tabla 4.4 con la acción de estas bacterias se logra un tratamiento efectivo para poder realizar las descargas de los efluentes de la empresa al alcantarillado público del GAD del municipio de Guayaquil.
5. Teóricamente la bacteria *Bacillus sp* posee un mayor alcance de tratamiento, ya que es una bacteria compuesta, debido a que posee un grupo de bacterias para la remoción de la materia orgánica y otro para la reducción de tensoactivos, pero queda descartado por su alta susceptibilidad a la variación del pH y de oxígeno disuelto, ya que esta se desarrolla en ambientes neutros.
6. Debido a la generación de biomasa formada, que es un indicador de la degradación de carga orgánica, se concluye que se va generando una remoción paulatina de los parámetros fuera de los rangos permisibles. Porque a medida que avanzaban los días de experimentación, para un mismo tiempo de retención entre un día a otro, la concentración de DQO monitoreado a diario, fue reduciéndose hasta cumplir con los valores predispuestos para la respectiva descarga de efluentes.
7. Por ultimo gracias a la experimentación que se realizó se concluye que la hipótesis planteada al inicio del proyecto es verdadera, ya que las bacterias *pseudomona Aeruginosa* cumplen con una adecuada remoción de contaminantes, debido a que todos los parámetros que exige el municipio de Guayaquil se encuentran dentro del rango permisible para la descarga al alcantarillado público.

6.2. RECOMENDACIONES:

1. La mejora continua conlleva a realizar perfeccionamientos en los diferentes procesos, para obtener mejores resultados y eficiencias más altas. Por lo que se enuncian las siguientes recomendaciones, con el fin de complementar todos los aspectos analizados a lo largo del periodo experimental.
2. Se recomienda una experimentación en un ambiente netamente neutro, para así poder comprobar un alcance más exacto de resultados, para cuantificar de mejor manera el tratamiento de efluentes.
3. Se recomienda que para la ejecución de la experimentación en el prototipo, este tenga las dimensiones a escala del dimensionamiento realizado, para obtener valores más cercanos a la realidad, ya que ese es el objetivo de un sistema piloto.
4. El acceso a los laboratorios en la universidad (ESPOL) de análisis deben ser ilimitados (incluidos fines de semana), para llevar un mejor seguimientos de la estabilización del sistema y de la degradación de sustratos orgánicos presentes en la matriz de agua analizada.
5. Antes de emprender cualquier proyecto de diseño, es importantes tener clara la proyección y la inversión económica que dispone la empresa, para avanzar correctamente dentro de los limitantes predispuestos.
6. Cuantificar los costos de montaje, operación y mantenimiento, para reducir valores monetarios al momento de la puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales.

REFERENCIAS

- Alvarado, Z. D & Cárdenas, C. C. (2015). *Sistematización de la Información de las Plantas de Depuración de Aguas Residuales del Sector Rural del Cantón Cuenca – Azuay*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso agua.*
- Arango, R. A & Garcés, G. L. (2010). *Aguas residuales (MOPT)*. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Bogotá: NOMOS.
- Arce, A. L & Calderón, C. G. (2015). *Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua, Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales*. México D. F: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Bracho, M. G. (2012). *Virus Entéricos Patógenos de Humanos en Agua Y Alimentos*. España: EAE
- Buenaño, D. M. (2015). *Propuesta de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Empresa Envasadora de Leche del Cantón Rumiñahui, Para que Cumpla con la Norma Técnica Ambiental (T.U.L.A.S)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional
- Chicón, L. (2006). *Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos*. Universidad de Málaga
- Cortina, D. C. & Marques, O. R. (2008). *Alternativa de Tratamiento de Aguas Residuales de la Industria Textil*. México D.F: Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.
- Craun, F & Berger, L. (1997). Coliform Bacteria and Waterborne Disease Outbreaks. Journal American Water Works Association: Vol.89.
- Cristes, R & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá: McGraw Hill Interamericana S.A.

- Daub, G. W. & Seese, W. S. (2005). *Química*. Nueva Jersey: Pearson Education.
- Dávalos, H. M & Chiriboga, A. C. (2010). *Propuesta de un Sistema de Monitoreo Para la Caracterización de las Aguas Residuales que Recepta el Río Tahuando*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte
- Echarri, L. (2007). *Población, Ecología y Ambiente. Contaminación del Agua*. Pamplona: Universidad de Navarra.
- Escamiroso, M. L. (2008). *Caracterización y tratamiento del agua residual de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez*. México: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Espigares, G. M & Pérez, J. A. (2011). *Aguas Residuales. Composición*. España: Universidad de Salamanca.
- Félix, A. D & Rikeros, G. D. (2015). *Diseño Del Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Generadas En El Cantón Durán*. Guayaquil: ESPOL.
- Franson, M. A. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Freire, E. P. (2012). *Análisis y Evaluación de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Para la Empresa TEIMSA-Ambato*. Riobamba: ESPOCH.
- Lara, V. L. (2011). *Las Aguas Residuales del Camal Municipal del Cantón Baños y su Incidencia en la Contaminación del Río Pastaza en la Provincia de Tungurahua*. Ambato: UTA.
- Lesikar, B. J. (2011). *Problemas del Agua Potable: Los Radionúclidos*. Texas: AgriLife Communications and Marketing.
- Mara, D. (2003). *Domestic wastewater treatment in developing countries*. London: Earthscan.
- Mayo, E. F. (2010). *Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Localidad de Xochiapa*. Xalapa: Universidad Veracruzana.
- Metcalf & Eddy, I. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*.

Muñoz, C.A. (2008). *Caracterización y Tratamiento de Aguas Residuales*. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Ordenanzas Ambientales del Municipio de Guayaquil.

Osorio, R. F & Torres, R. J. (2011). *Tratamiento de Aguas Para la Eliminación de Microorganismos y Agentes Contaminantes. Aplicación de Procesos Industriales a la Reutilización de Aguas Residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Pérez, A & Torres, P. (2008). *Índices de Alcalinidad Para el Control del Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Fácilmente Acidificables*. Cali: Universidad del Valle.

Repetto, G. (1991). *Apuntes Sobre las Aguas Negras*. Italia: Cooperazione Italiana.

Rodier, J. (1989). *Análisis de las Aguas: Aguas Naturales, Aguas Residuales, Agua de Mar*. Barcelona: Omega.

Romero, L. K. (2009). *Contaminación Por Metales Pesados*. Revista Científica Ciencia Médica Vol. 12 n.1 Cochabamba.

Saavedra, C. B. (2017). *Aplicación De Macrofitas en Flotación Como Ayuda en el Tratamiento de Aguas Residuales en la Laguna UDEP*. Piura: Universidad de Piura.

Ramos, O. R & Sepúlveda, M. R. (2003). *El agua en el Medio Ambiente: Muestreo y Análisis*. México: Plaza y Valdés Editores.

Santos, N. M. (2015). *Evaluación de Biodigestor de Polietileno Rotoplast en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas y Propuesta de Diseño de Biofiltro en la Comunidad de Oquebamba-Espinar*. Puno: Universidad Nacional Del Altiplano.

Silva. B. J, (2004). *Evaluación y Rediseño del Sistema de Lagunas de Estabilización de la Universidad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.

Soto, J. (2010). *La dureza del agua como indicador básico de la presencia de incrustaciones en instalaciones domésticas sanitarias*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Sperling, M. V. (2007). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. London: IWA.

- Vargas, J. C. (1999). *Manual de Mecánica para no Mecánicos*. Colombia: Intermedios Editores.
- Valencia, A. E. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis – provincia de Chimborazo*. Riobamba: ESPOCH.
- Vásquez, D. (2003). *Estudio de Factibilidad para la Construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la UDLA-P*. Puebla: Universidad de las Américas.
- Weber, W. J. (2003). *Control de la Calidad del Agua: Procesos Físicoquímicos*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Gavilán, N. A. (2009). *Fabricación de detergente en polvo*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13097/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gi, M. J. (23 de julio de 2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Carmen Arnáiz, L. I. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. Tecnología del Agua, 1-5.
- Hess, M. L. (2007). *Tratamientos Preliminares*. Sao Paulo- Brasil: CETESB.
- Jordi Morató, G. V. (2006). *Manual de Tecnologías Sostenibles en Tratamiento de Aguas*. Antioquia: TECSPAR.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de las aguas residuales (teoría y diseño)*. Acodal-Colombia: Acodal.
- Unatsabar. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de una trampa de grasa*. Lima-Perú: OPS.
- Uribe, J. S. (Agosto de 2013). *Tratamiento y disposición final del agua producida en yacimientos de petróleo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7613/Tesis%20completa.pdf?sequence=1>

- Mecías, I. P. (2012). Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las etapas ribera y curtido para la tenería San José. Riobamba-Ecuador: Tesis para obtención de título de Ingeniería química.
- Romero, A. (2010). Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño. Colombia: Escuela colombiana de ingeniería.
- Torres, N. J. (2014). Diseño de un reactor biológico de fangos activados. Almería-España: Trabajo Fin de Grado Ciencias Ambientales.
- UNATSABAR. (2003). Especificaciones técnicas para el diseño de separador de aceites y grasas. Lima.

Glosarios De Términos Y Simbología

A	Área, m ²
D	Días
E (%)	Porcentaje de eficiencia, %
F _s	Factor de seguridad para el tiempo de retención celular
H	Horas
H	Altura, m
H _{reparto}	Altura de reparto, m
K _d	Tasa relativa de respiración endógena, d ⁻¹
Kg	Kilogramos
K _s	Constante de saturación del sustrato, mg DBO ₅ /L
L	Litros
M	Metros
N	Número de bacterias a un determinado tiempo, UFC
N ₀	Número de bacterias iniciales, UFC
Ø	Diámetro, m
P	Profundidad, m
Q ₀	Caudal afluente, m ³ /d
Q _{Prom}	Caudal promedio, m ³ /d
Q _{O2}	Caudal de oxígeno, m ³ /d
Q _R	Caudal de recirculación, m ³ /d
Q _S	Caudal de salida, m ³ /d
Q _W	Caudal de purga, m ³ /d
R	Radio, m
R	Relación de recirculación
S	Concentración de materia orgánica en el reactor, mg DBO ₅ /L
S ₀	Concentración de materia orgánica en la entrada, mg DBO ₅ /L
S _s	Concentración de materia orgánica, mg DBO ₅ /L
T	Tiempo, d, h

T_{HR}	Tiempo de retención hidráulica, h, d
T_{io}	Tiempo de iniciación de operación, h
T_w	Tiempo de retención hidráulica celular, d
T_x	Tiempo de retención celular, h, d
M	Velocidad específica máximo de formación de biomasa, d^{-1}
μ_m	Velocidad específica máximo de formación de biomasa, d^{-1}
V	Volumen, L, m^3
X	Concentración de biomasa para diseño, mg SSV/L
X_w	Concentración de biomasa, mg SSV/L
Y	Coefficiente de crecimiento bacteriano, mg SSV/ mg DB5 consumida

ANEXOS

ANEXO A

Resultados de Análisis



FACTURA

No. 001-002-000005905
 NÚMERO DE AUTORIZACIÓN
 1008201701200100200000590509913153140
 FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN 10/08/2017 16:00:37
 AMBIENTE: PRODUCCION
 EMISIÓN: NORMAL
 CLAVE DE ACCESO



1008201701099131531400120010020000059050000590510

R.U.C.: 0991315314001
 GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA GRUQUIMAR
 Dir. Matriz: KM. 11,5 VIA DAULE C.C. P.CALIF. II BL.D-41
 Teléfonos: 042-103390(2) / 042-103825(35)
 Página Web: www.grupoquimicomarcos.com
 Contribuyente Especial Resolución Nro.: NO
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

Razón Social / Nombres y Apellidos: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
 RUC / CI: 0925017618

Fecha Emisión: 10/08/2017

Cant	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
1	ACEITES Y GRASAS	30.0000	9.00	21.00
3	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	35.0000	31.50	73.50
1	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	35.0000	10.50	24.50
3	TENSOACTIVOS-DETERGENTES	35.0000	31.50	73.50

Información Adicional
 DIRECCION SAUCES
 TELEFONO 0925017618
 MAILCLIENTE agmonar@espol.edu.ec
 SERVICIO Servicio de Análisis Ambientales de los Parámetros Solicitados
 Ordenes De Trabajo 67295,67526

SUBTOTAL 12%	192.50
SUBTOTAL 0% -	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTO	192.50
TOTAL DESCUENTO	82.50
SUBTOTAL	192.50
IVA 12%	23.10
VALOR TOTAL	215.60

Son: DOSCIENTOS QUINCE DOLARES 60/100 US Dolares dólares.

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	215.60	5	días

GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA.

CANCELADO

Cheque No.: *efectivo*

Valor: *\$ 215.60*

Roxana Vinuela F.

FIRMA AUTORIZADA

DPTO. CREDITOS Y COBRANZAS

10/08/2017

RECEPCION DE MUESTRAS

NO. ORDEN: 67295 FECHA DE LLEGADA: 2017/07/28 12:37

CLIENTE: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
 DIRECCION: Sauces
 ATENCIÓN A: Sr. Adolfo Monar
 FACTURAR A: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
 DIRECCION: Sauces
 ATENCIÓN A: Sr. Adolfo Monar

ENTREGA DE RESULTADOS: 2017/08/14 PRIORIDAD: A NO. DE MUESTRAS: 1

FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2017/07/28 10:30 MATRIZ: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
 LUGAR MUESTREO: Guayaquil
 IDENTIFICACION: Efluente de AARR para caracterización
 TABLA COMPARATIVA:
 COORDENADAS GEOGRAFICAS: --- MUESTREADO POR : MONAR FREIRE ADOLFO
 TIPO MUESTREO: Compuesto DURACIÓN MUESTREO: 10:30 a 11:30
 NORMA TECNICA: ---/N/A

NO. LAB.	CLA. PAR.	PARAMETRO	METODO
67295-1	PO07	Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-05
67295-1	PO10	Demanda Química de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-16
67295-1	OP07	Tensoactivos-Detergentes	PEE-GQM-FQ-21
67295-1	PO02	Aceites y Grasas	PEE-GQM-FQ-03

OBSERVACIONES: Muestra recibida a 11.6 grados centígrados . Muestra compuesta de 1 hora.

Entrega Muestras a GQM Adolfo Monar	Ingresar muestras a Autolab AF	Ing. Muestras Laboratorio	Rec. Muestras Laboratorio
Orden Revisada Por.	Fecha de Revisión	Orden de Servicio en:	Acta de Toma de Muestra en:

OBSERVACIONES:

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 8 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 28/07/17 10:30 Guayaquil
Fecha y Hora de Recepción: 28/07/17 12:37
Punto e Identificación de la Muestra: Efluente de AARR para caracterización
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
Muestreador: Sr. Adolfo Monar
Tipo de Muestreo: Compuesto
10:30 a 11:30

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.
LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS
MC2201-12

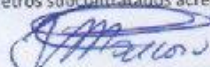
Coordenadas Geográficas: ---

Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Tensoactivos-Detergentes (3)	36,000	10,271	mg/l	PEE-GQM-FQ-21	31/07/17 JV
Aceites y Grasas	36,25	2,97	mg/l	PEE-GQM-FQ-03	03/08/17 NS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2664,00	127,87	mgO2/l	PEE-GQM-FQ-05	28/07/17 LS
Demanda Química de Oxígeno	3297,80	406,95	mgO2/l	PEE-GQM-FQ-16	28/07/17 LS

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Limite Detectable	L.M.P.	Limite Máximo Permissible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, competencia evaluada - Cap. 5 MC; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 8 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 28/07/17 10:30 Guayaquil -
Fecha y Hora de Recepción: 28/07/17 12:37
Punto e Identificación de la Muestra: Efluente de AARR para caracterización
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
Muestreador: Sr. Adolfo Monar
Tipo de Muestreo: Compuesto
10:30 a 11:30

Coordenadas Geográficas: ---

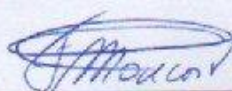
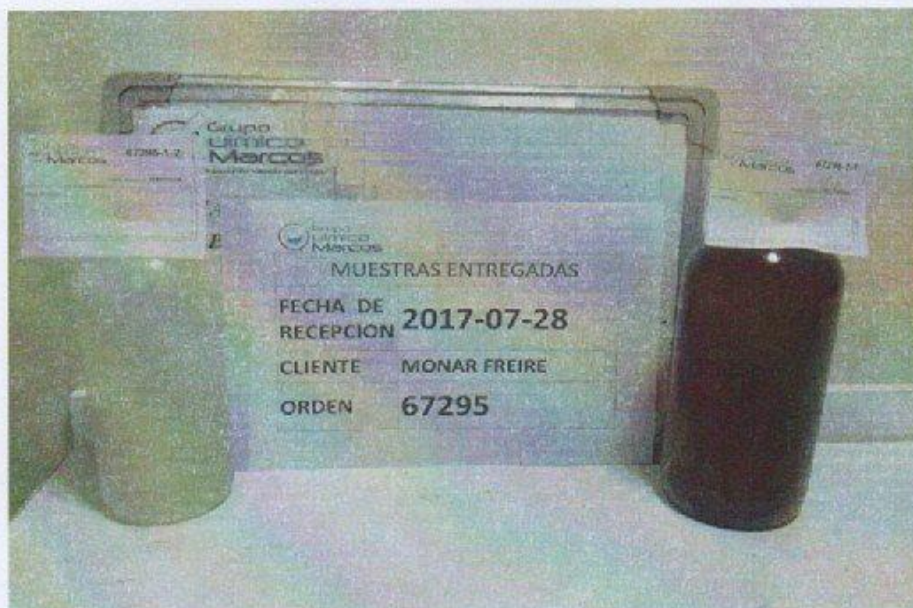
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno,
Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

MEMORIA FOTOGRAFICAQ. F. FERNANDO MARCOS V.
Director TécnicoQ.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule

Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com

Guayaquil - Ecuador

RECEPCION DE MUESTRAS

NO. ORDEN: 67526 **FECHA DE LLEGADA:** 2017/08/10 15:43

CLIENTE: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
DIRECCION: Sauces
ATENCIÓN A: Sr. Adolfo Monar
FACTURAR A: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
DIRECCION: Sauces
ATENCIÓN A : Sr. Adolfo Monar

ENTREGA DE RESULTADOS: 2017/08/23 **PRIORIDAD:** A **NO. DE MUESTRAS:** 2

FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2017/08/10 12:00 **MATRIZ:** AGUA TRATADA
LUGAR MUESTREO: Guayaquil - Laboratorio Espol
IDENTIFICACION: Muestra 1 (Pseudomonas)
TABLA COMPARATIVA:

COORDENADAS GEOGRAFICAS: --- **MUESTREADO POR :** MONAR FREIRE ADOLFO
TIPO MUESTREO: Simple **DURACIÓN MUESTREO:**
NORMA TECNICA: ---N/A

NO. LAB.	CLA. PAR.	PARAMETRO	METODO
67526-1	PO07	Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-05
67526-1	OP07	Tensoactivos-Detergentes	PEE-GQM-FQ-21

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente. A una temperatura de 8,8°C. Hora de llegada 15:30. Envase de vidrio ámbar (1 lt).

FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2017/08/10 12:00 **MATRIZ:** AGUA TRATADA
LUGAR MUESTREO: Guayaquil - Laboratorio Espol
IDENTIFICACION: Muestra 2 (Bacillus sp)
TABLA COMPARATIVA:

COORDENADAS GEOGRAFICAS: --- **MUESTREADO POR :** MONAR FREIRE ADOLFO
TIPO MUESTREO: Simple **DURACIÓN MUESTREO:**
NORMA TECNICA: ---N/A

NO. LAB.	CLA. PAR.	PARAMETRO	METODO
67526-2	PO07	Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-05
67526-2	OP07	Tensoactivos-Detergentes	PEE-GQM-FQ-21

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente. A una temperatura de 8,8°C. Hora de llegada 15:30. Envase de vidrio ámbar (1 lt).

Entrega Muestras a GQM	ingresa muestras a Autolab	Ing. Muestras Laboratorio	Rec. Muestras Laboratorio
Sr. Troy Aspiazu	MCH		
Orden Revisada Por:	Fecha de Revisión	Orden de Servicio en:	Acta de Toma de Muestra en:

OBSERVACIONES:

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol

Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43

Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 1 (Pseudomonas)

Norma Técnica de muestreo: N/A---

Matriz de la muestra: AGUA TRATADA

Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Muestreador: Cliente

Tipo de Muestreo: Simple

Coordenadas Geográficas: ---

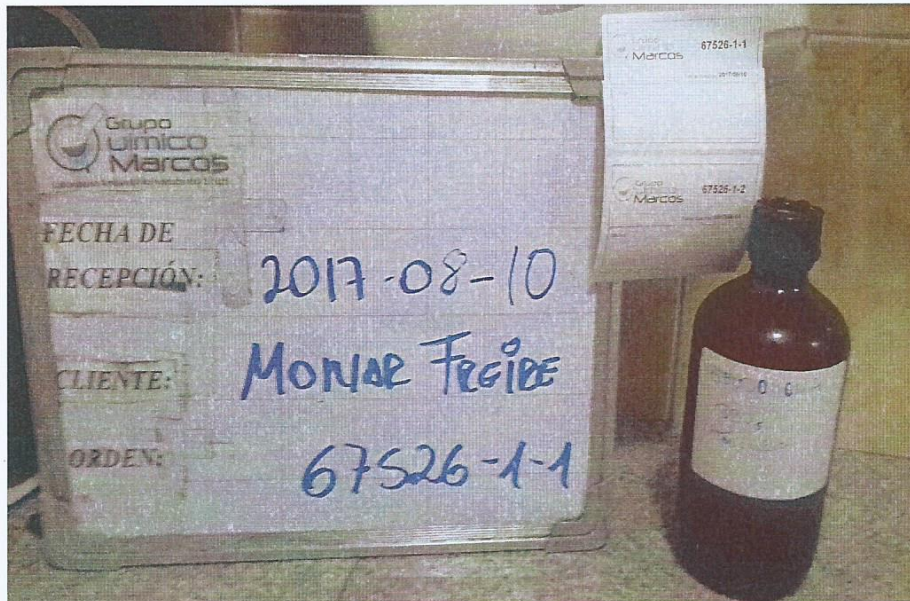
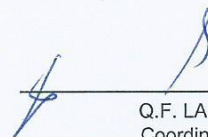
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

MEMORIA FOTOGRAFICAQ. F. FERNANDO MARCOS V.
Director TécnicoQ.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol

Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43

Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 1 (Pseudomonas)

Norma Técnica de muestreo: N/A---

Matriz de la muestra: AGUA TRATADA

Muestreador por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Muestreador: Cliente

Tipo de Muestreo: Simple

Coordenadas Geográficas: ---

Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendidos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Tensoactivos-Detergentes (3)	0,246	0,070	mg/l	PEE-GQM-FQ-21	16/08/17 JV
Demanda Bioquímica de Oxígeno	45,00	2,16	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-05	10/08/17 LS

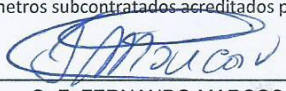
---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incertidumbre	P.E.E..	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

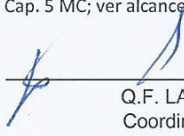
1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.

2: Parámetros subcontratados no acreditados

3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación

4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, competencia evaluada - Cap. 5 MC; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec


Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico


Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol
Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43
Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 2 (Bacillus sp)
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Matriz de la muestra: AGUA TRATADA
Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
Muestreador: Cliente
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: ---

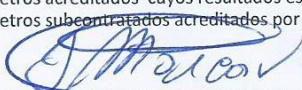
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

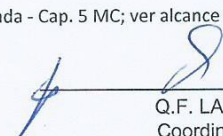
GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.
LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS
MC2201-12

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Tensoactivos-Detergentes	2,550	0,728	mg/l	PEE-GQM-FQ-21	16/08/17 JV
Demanda Bioquímica de Oxígeno	39,96	1,92	mgO2/l	PEE-GQM-FQ-05	10/08/17 LS

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permissible	
U	Incertidumbre	P.E.E..	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, competencia evaluada - Cap. 5 MC; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec


Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico


Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol
Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43
Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 2 (Bacillus sp)
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Matriz de la muestra: AGUA TRATADA
Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
Muestreador: Cliente
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: ---

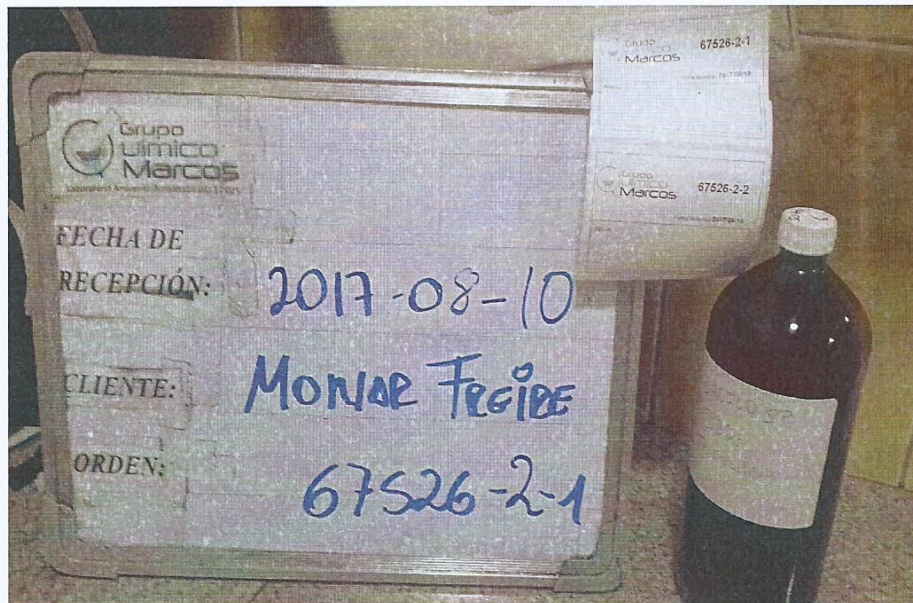
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Solidos totales y Solidos Suspendidos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

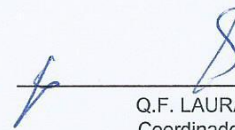
LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

MEMORIA FOTOGRAFICA

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

ANEXO B

Registro Fotográfico

Sección A: Medición de Caudales y Toma de Muestra



Fig. A1



Fig. A2



Fig. A3



Fig. A4



Fig. A5



Fig. A6



Fig. A7



Fig. A8

Sección B: Laboratorio Grupo Químico Marcos S.A.

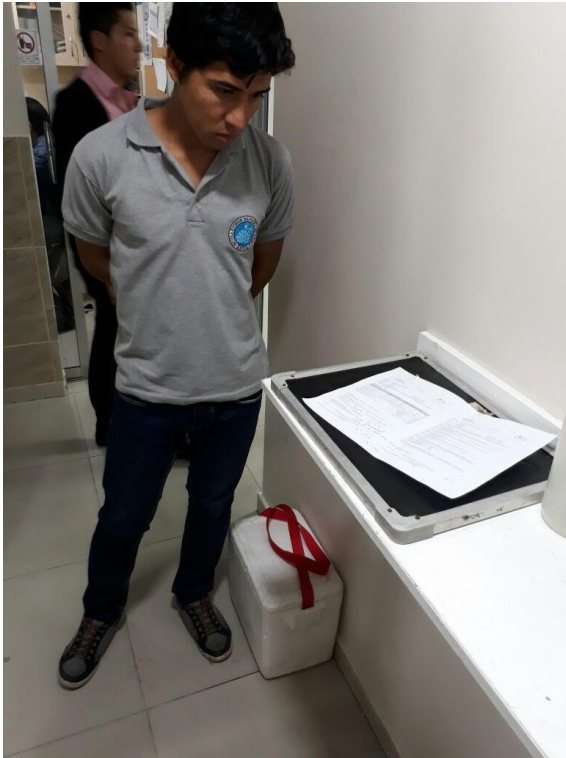


Fig. B1

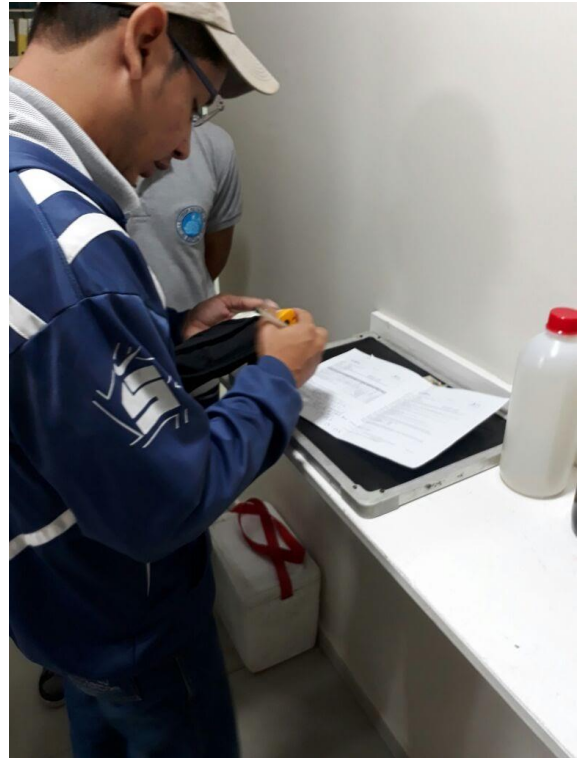


Fig. B2




Fig. B3



Fig. B4



Fig. B5

 **Grupo Químico Marcos**

RECIBO DE CAJA

HEMOS RECIBIDO DE: Monica Freire Adolfo Egerman VALOR: 211,68
RUC: 0925017618

LA CANTIDAD DE: doscientos once 68/100 dólares

POR CONCEPTO DE: pago c 28 170

FECHA: Septiembre, 2017-07-28

GRUPO QUIMICO MARCOS C LTDA
GRUQUIMAR
Roxana Vinuesa
RECIBI CONFORME A
DPTO. DE CONTABILIDAD

[Signature]
ENTREGUE CONFORME

Fig. B6

Sección C: Análisis en laboratorios de la ESPOL



Fig. C1

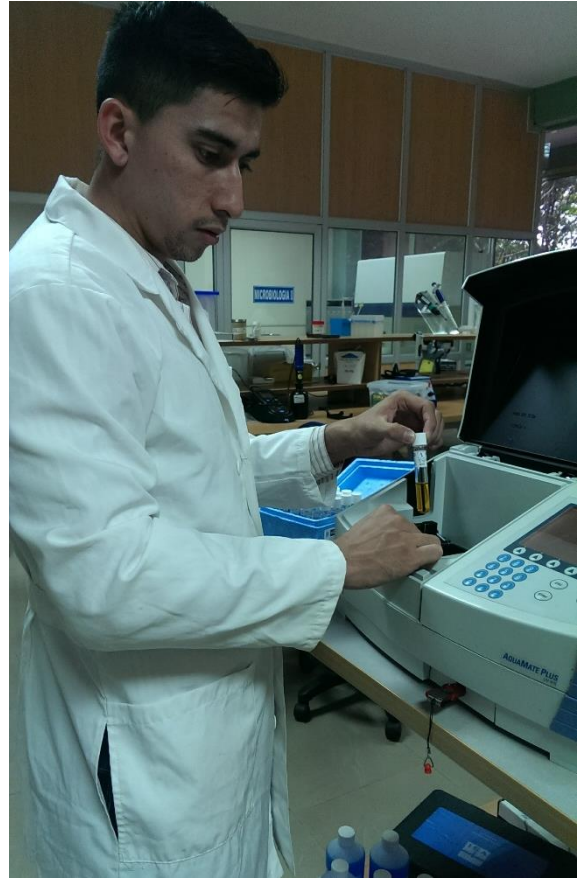


Fig. C2



Fig. C3



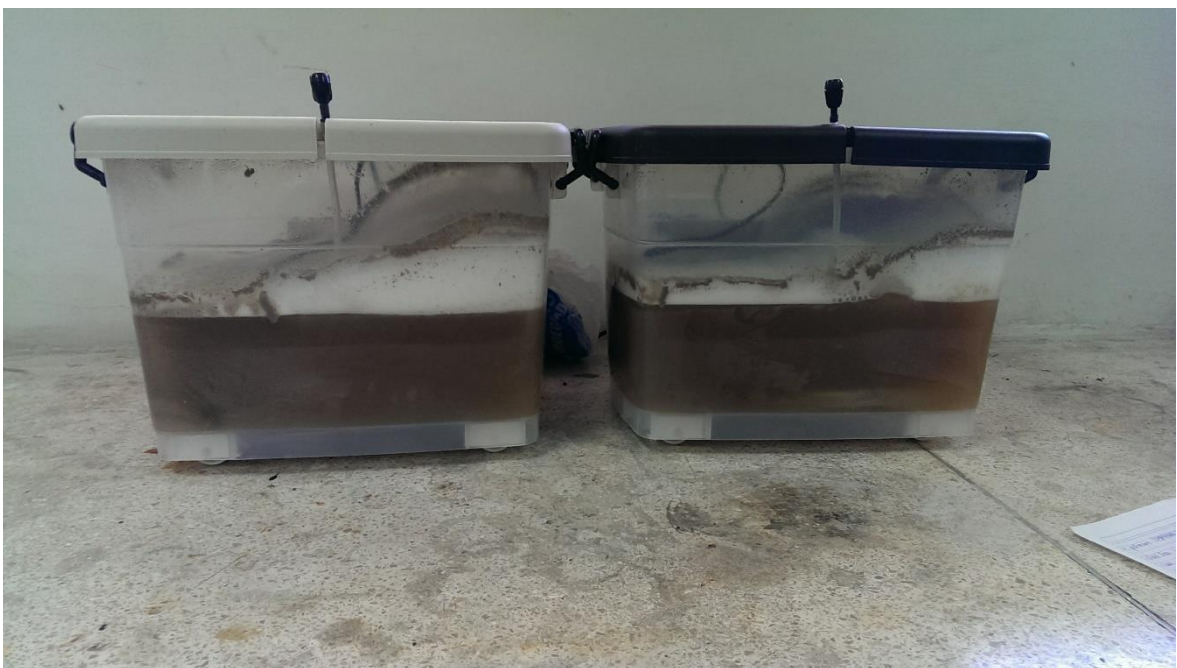
Fig. C4

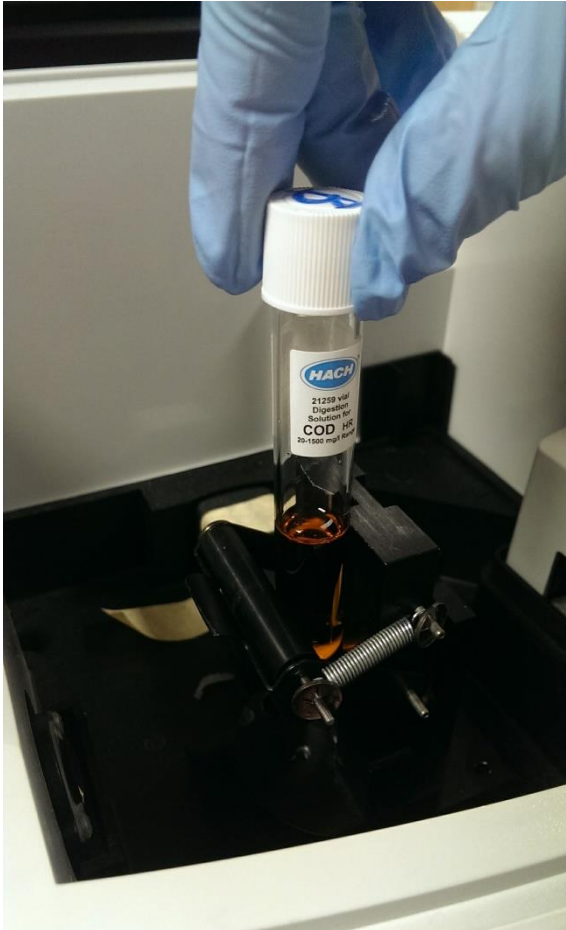
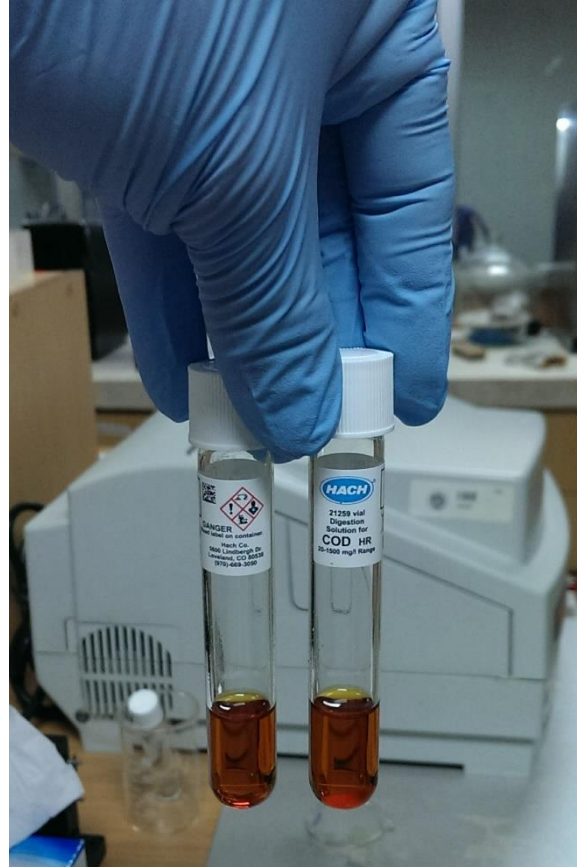
Sección D: Experimentación

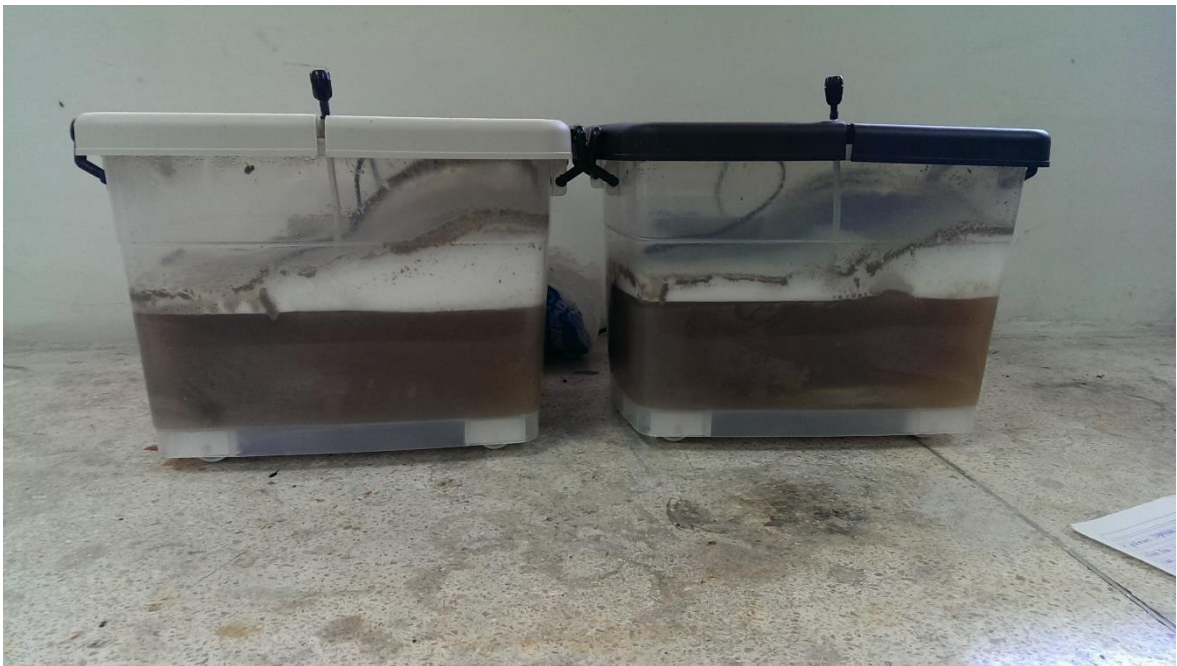


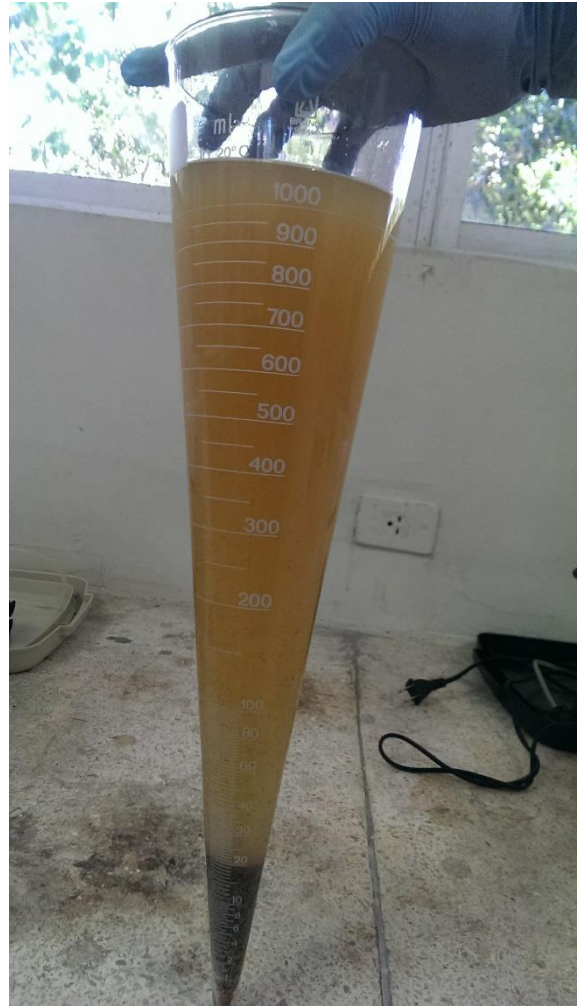




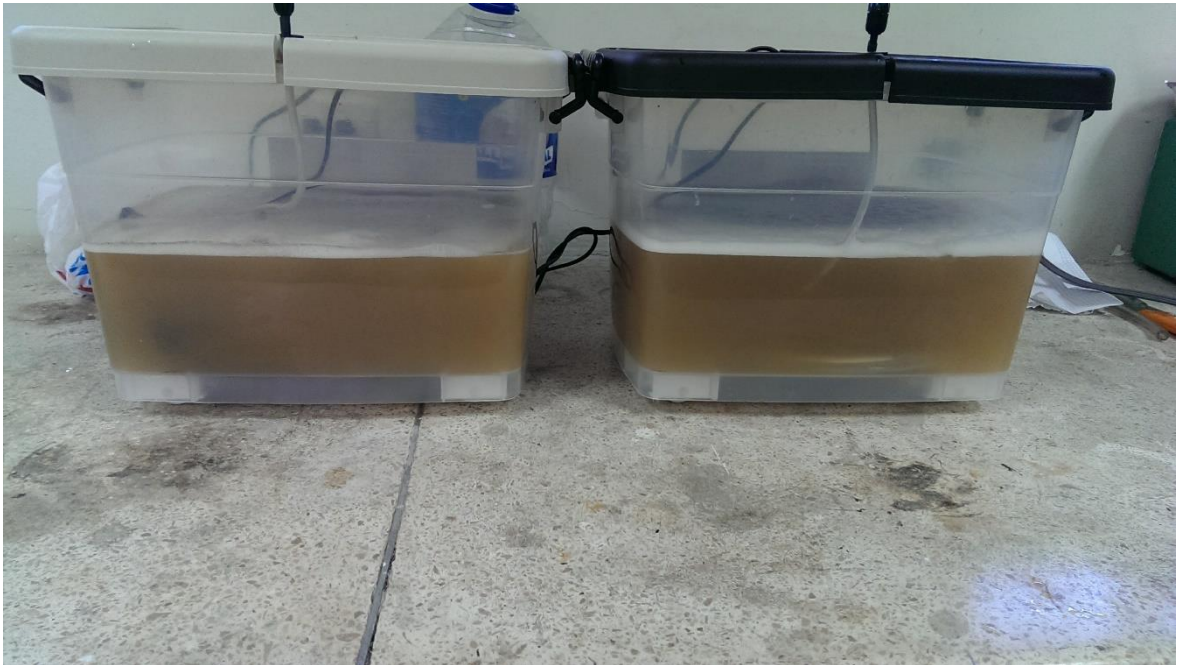
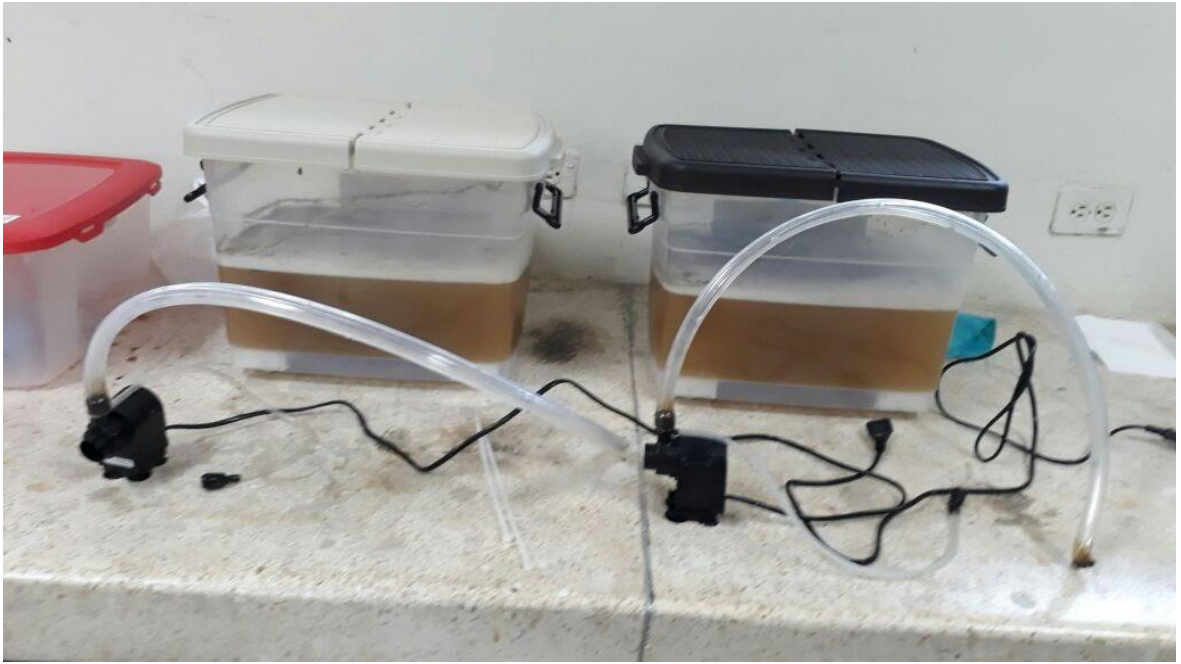


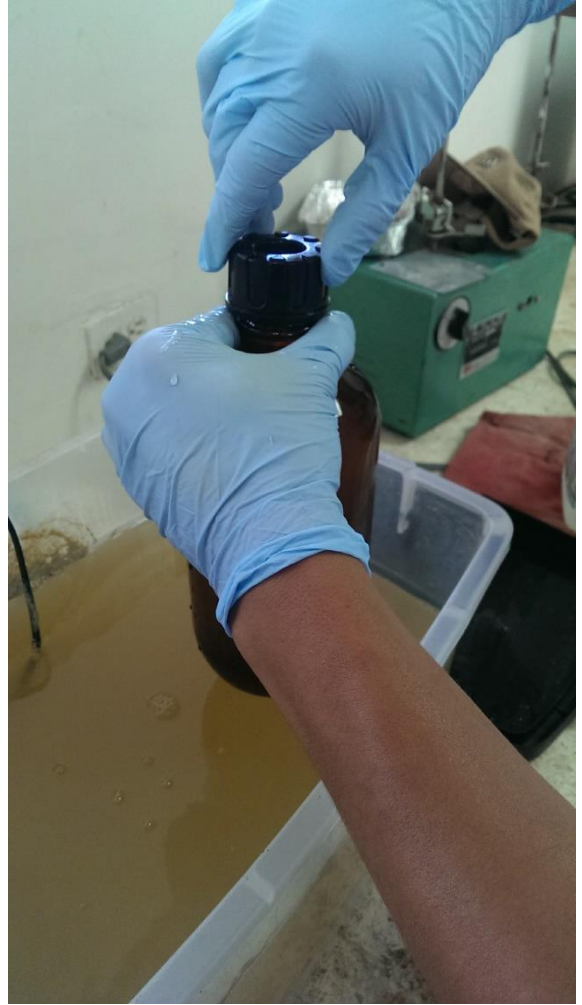












ANEXO C

Manuales

Manual de Operación

En esta sección se describe la correcta operación de los equipos o sistemas en las diferentes etapas del tratamiento propuesto.

➤ Revisión del Panel de control

El sistema de tratamiento propuesto para las descargas líquidas de la empresa tendrá un panel de control, el cual servirá para el encendido y apagado de las tres bombas que tendrá dicho sistema. El panel de control deberá estar ubicado en un lugar visible y accesible dentro de la empresa, preferiblemente a un lado del sistema de tratamiento, como se observa en la figura 1.

El panel contendrá 3 perillas de encendido/apagado. Inicialmente las perillas se presentan en posición de apagado como se muestra en la figura 2. Al momento de encender alguna bomba del sistema únicamente se tendrá que girar hacia la derecha la perilla respectiva, como se ilustra en la figura 3.



Figura 1. Panel de Control

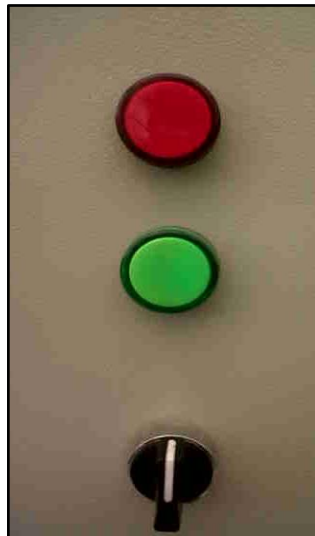


Figura 2. Posición de Apagado

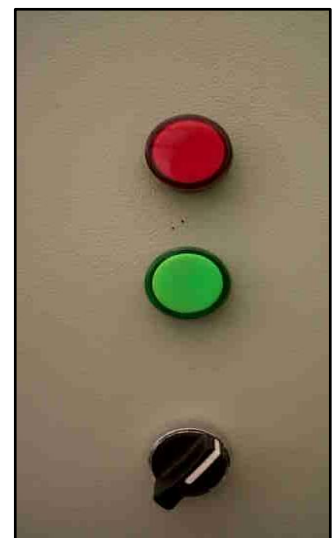


Figura 3. Posición de Encendido

IMPORTANTE: En caso de cualquier problema que se presente en el panel de control, se deberá proceder al uso del botón de emergencia que se encuentra en la parte lateral superior, suspendiendo de esta manera el funcionamiento del sistema. Posteriormente se verificará que los 3 botones estén en la posición de apagado (figura 3.11), e inmediatamente llamar al personal de Mantenimiento de la empresa (preferiblemente a un técnico electricista).

➤ **Revisión del Sistema de Desbaste y Trampa de Grasas**

La primera etapa del proceso propuesto, es el sistema de desbaste y trampa de grasas. En esta parte del proceso, para la retención de los sólidos en los efluentes se va a usar una rejilla de acero inoxidable con perforaciones circulares de 5 mm de diámetro (figura 4). Se deberá verificar que el paso de agua residual al proceso se dé sin interrupciones, para el correcto funcionamiento del proceso. Esto se logra observando al interior de la caja, en donde está colocada la rejilla de desbaste, en el cual se debe verificar que los sólidos queden retenidos en la rejilla y de esta manera asegurar que solo pase agua al siguiente sistema del proceso.

Una vez que los efluentes pasan por la rejilla de desbaste entran al sistema de trampa de grasas, el cual es el último pre tratamiento que se le da a dicho efluentes para poder ingresar de una mejor manera al reactor biológico. Para la verificación de esta etapa se debe comprobar visualmente que los aceites y grasas queden suspendidos en la superficie y que estos no ingresen al reactor biológico, como se muestra en la figura 5.

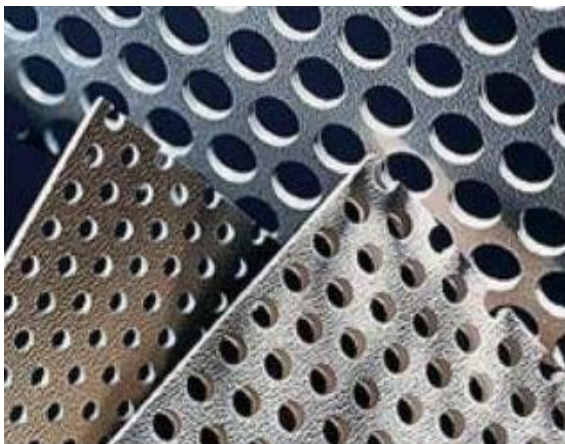


Figura 4. Perforaciones de la Rejilla de Desbaste

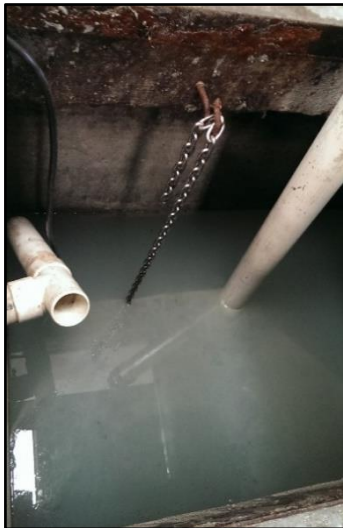


Figura 5. Trampa de Grasas

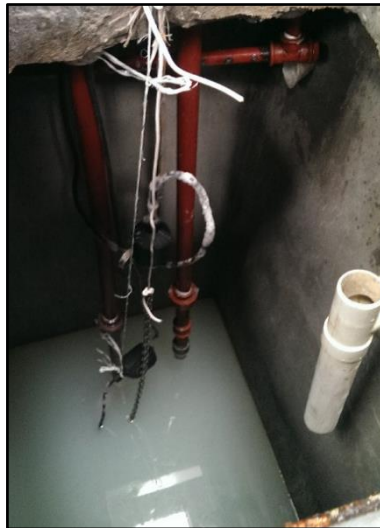
➤ **Revisión del Reactor Biológico y Sedimentador Secundario**

Este es el proceso más importante del sistema propuesto, ya que en esta etapa se realiza la reducción de la concentración de los parámetros (DBO₅, DQO y tensoactivos) que exige el municipio de Guayaquil para poder descargar los efluentes al alcantarillado público. En esta parte del proceso se debe levantar las tapas del reactor (figura 5) y sedimentador secundario (figura 6) para visualmente

verificar que no exista alguna anomalía en el interior de estos. En el caso del reactor biológico se debe comprobar que el pH este dentro del intervalo de 6,5 a 9, caso contrario se deberá realizar el ajuste a dicho pH, para eso se usarán soluciones ácidas o básicas dependiendo del caso. También en esta etapa se debe verificar el correcto funcionamiento de las bombas, en primer lugar se debe verificar la bomba de aireación (figura 7), esta verificación se la realiza tocando la parte superior de la tubería de aire, para así comprobar que esta encendió con normalidad. Finalmente para la verificación de la bomba de recirculación del sedimentador secundario, simplemente se debe escuchar el sonido de la bomba al momento de encender.



**Figura 5. Reactor
Biológico**



**Figura 6. Sedimentador
Secundario**



**Figura 7. Bomba de
Aireación**

➤ **Revisión del Sistema de Filtrado**

Esta parte del proceso se la denomina como “pulimiento” para el sistema de tratamiento propuesto, ya que con los filtros (figura 8) se obtiene un tratamiento más minucioso en la parte de retención de algún sólido (filtro de grava), o algún mal olor (filtro de carbón activado) que no se haya podido eliminar en etapas anteriores. Para la verificación de esta etapa del proceso se debe comprobar que la bomba para los filtros encienda con normalidad, esta verificación se la hace de manera auditiva. Además se debe comprobar que los filtros estén en buen estado visualmente y que estos no presenten alguna perforación por algún exceso de presión. Por lo general para un buen funcionamiento de los filtros la presión de trabajo no deberá superar los 75 PSI.



Figura 8. Filtros de Grava y de Carbón Activado

Proceso para el Encendido del Sistema de Tratamiento

1. Abrir el panel de control y encender el breaker principal para el suministro de energía eléctrica al sistema.
2. Encender y verificar el correcto funcionamiento de la bomba de aireación para el adecuado suministro de oxígeno en el interior del reactor biológico.
3. Levantar la tapa de la caja de las descargas de los efluentes de la empresa, y verificar el correcto funcionamiento de la rejilla de desbaste y de la trampa de grasas. Si se observa una gran cantidad de sólidos retenidos y de grasa flotante realizar la evacuación de los mismos.
4. Levantar la tapa del reactor biológico y verificar su correcto funcionamiento. Se deberá medir el pH, el cual deberá estar entre un valor de 6,5 a 9, caso contrario se deberá regular dicho pH.
5. Levantar la tapa del sedimentador secundario y verificar su correcto funcionamiento.
6. Abrir la llave de paso de agua hacia los filtros (grava y carbón activado), encender y verificar el correcto funcionamiento de la bomba para filtración. Esta etapa de filtrado no es del carácter obligatorio, se recomienda trabajar con los filtros 5 horas al día, preferiblemente por las mañanas (el agua que queda retenida en el sedimentador secundario por las noches estará bien clarificada por las mañanas). Cabe recalcar que la toma de muestras del

sistema de tratamiento propuesto deben ser tomadas a la salida del sistema de filtración, para así brindar mejores resultados al momento de los análisis.

7. Abrir la llave de paso de agua a la salida de los filtros (descarga de los efluentes tratados hacia la red de alcantarillado público) y verificar el correcto funcionamiento de los mismos, revisando la presión de estos (< 75 PSI).

Proceso para el Apagado del Sistema de Tratamiento

1. Apagar la bomba de filtración y cerrar las llaves de paso, tanto a la entrada como a la salida del proceso de filtración.
2. Apagar la bomba de aireación.
3. Abrir la llave de paso respectiva, encender y verificar el correcto funcionamiento de la bomba de recirculación del sedimentador secundario durante aproximadamente 60 segundos, para que así se logre una recirculación de los lodos (del sedimentador secundario hacia el reactor biológico).
4. Finalmente se deja apagado el breaker principal, esto se lo realiza por motivos de protección de los equipos eléctricos.

Manual de Mantenimiento

Las labores de mantenimiento pueden ser del tipo preventivo (ocasionales) o correctivos si se presenta algún problema en algunos de los equipos o etapas en el sistema propuesto. Con un buen mantenimiento se garantiza una vida útil más larga de los equipos y además se reduce la posibilidad de accidentes y emergencias. A continuación se describe el adecuado mantenimiento de los equipos o sistemas en las diferentes etapas del tratamiento propuesto.

➤ Panel de Control

- Diariamente se debe comprobar visualmente un buen estado del panel eléctrico, verificando un buen estado de la tapadera y la cantidad de tornillos que sujetan a la misma.
- Mensualmente se debe verificar que todos los interruptores térmicos y breakers estén enganchados correctamente a las barras de alimentación. Como se observa en la figura 9 se debe verificar que los pernos o tornillos que sujetan a los cables o alambres alimentadores se encuentren bien apretados (verificar flojos o dañados).
- Trimestralmente con la ayuda de un amperímetro se debe verificar el correcto funcionamiento de los interruptores térmicos y de los breakers (figura 10). Además se debe comprobar que el conductor de tierra esté debidamente apretado y que tenga continuidad eléctrica con la estructura del tablero.
- Por lo menos una vez al año con la ayuda de una brocha, debidamente aislada realizar una limpieza en el interior del tablero, removiendo polvo, cinta adhesiva sobrante, escombros de reparaciones anteriores, etc. Después de realizar la limpieza con la brocha se debe utilizar un spray lubricante para evitar la corrosión y mal funcionamiento de los contactos eléctricos (se puede utilizar un tubo de extensión para aplicaciones precisas). Si existe empalmes entre los conductores comprobar que estos se encuentren en buen estado y que la cubierta de cinta adhesiva no se encuentre deteriorada (figura 11).



Figura 9. Ajuste de Pernos



Figura 10 Comprobación Eléctrica



Figura 11. Colocación de Spray

➤ **Sistema de Desbaste y Trampa de Grasas**

- Diariamente se debe verificar que la rejilla de desbaste este en buen estado y que los efluentes de la empresa fluyan a través de ella sin dificultad.
- Mensualmente se debe destapar la caja de las descargar de los efluentes y realizar una limpieza de la rejilla, removiendo los sólidos adheridos en ella (plástico, papel, cartón, etc.). De igual manera se debe retirar la grasa sobrenadante alrededor de la trampa de grasas.
- Por lo menos una vez al año se debe retirar la rejilla de desbaste para mantenimiento. Dicho mantenimiento consiste en limpiar, lijar y pintar con pintura anticorrosiva la rejilla (figura 12). Si se verifica que la rejilla posee un deterioro severo se debe realizar el cambio de la misma. En cuanto a la trampa de grasa se debe realizar una limpieza con cloro y detergente, para así remover la acumulación de moho.

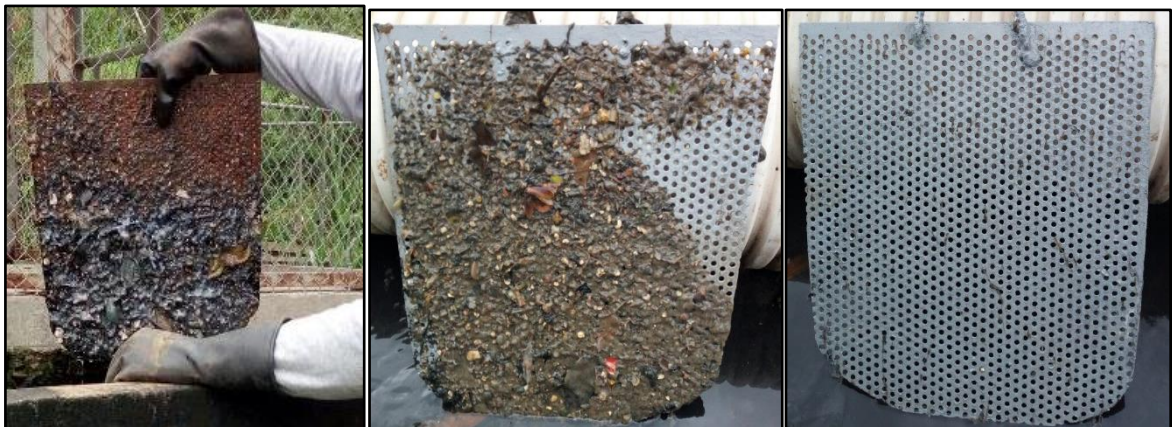


Figura 12. Mantenimiento a la Rejilla de Desbaste

➤ **Reactor Biológico**

- Diariamente se debe verificar un buen funcionamiento de la bomba de aireación, esto se lo realiza escuchando el sonido de la bomba al momento de encender y sintiendo la vibración de la misma tocando el tubo de aire. Si se presentan problemas en el funcionamiento de dicha bomba llamar de inmediato al personal de mantenimiento de la empresa. Se debe tener un control del pH (6 – 9), para así evitar que existan problemas dentro del reactor.
- Cada seis meses se debe realizar una inspección dentro del reactor. La inspección tiene como objetivo determinar el espesor de los lodos acumulados. Para esta labor se usa un tubo metálico, al cual en su parte inferior se le envuelve una tela blanca, luego se sumerge el tubo dentro del reactor y después de un par de minutos se lo retira, observándose una sección de lodos por las partículas que quedan adherida a la tela. Gracias a dicha inspección se tiene un control de la biomasa que se está generando dentro del reactor, si esta biomasa está en constante aumento se puede concluir que existe un buen funcionamiento en esta etapa del proceso (la biomasa se forma por la degradación de materia orgánica). Será necesario la evacuación de los lodos, cuando la altura de los mismos superen en un 25 % la altura operativa del reactor. Por lo general la extracción de lodos se la puede realizar con un balde provisto de un mango largo o utilizando una bomba manual de succión de lodos (bomba de diafragma). No se debe realizar la remoción de los lodos en su totalidad, ya que esto puede desestabilizar el sistema de tratamiento, normalmente se debe dejar de extraer los lodos cuando se observe que estos están muy diluidos. Cabe añadir que dicha revisión se la debe realizar cuando el sistema de tratamiento no esté en funcionamiento y que el personal que se encargue de dicho mantenimiento este provisto del equipo de protección personal (guantes, botas y mascarillas como mínimo).
- Una vez al año se debe retirar la bomba de aireación (figura 13) y enviarla a un técnico electricista para su respectivo mantenimiento preventivo. Además se debe realizar una prueba de filtración al reactor por lo menos una vez al año, dicha prueba es del tipo hidráulico, la cual consiste en llenar con agua al reactor y en un intervalo de 24 horas verificar que el volumen de agua no ha descendido. En caso de que se presenten filtraciones, se debe de inmediato vaciar en su totalidad la cámara del reactor biológico y proceder a su respectivo

mantenimiento (cubrir las paredes y el piso del reactor con una capa de cemento hidráulico de fraguado rápido para así sellar dichas filtraciones).



Figura 13. Limpieza de la Bomba de Aireación

➤ **Sedimentador Secundario**

- Diariamente después de una jornada de trabajo (18:00pm) se debe realizar la recirculación de lodos, para esto se usa la bomba de recirculación que está ubicada en el interior del sedimentador secundario. En esta etapa se debe verificar el correcto funcionamiento de la bomba de recirculación. Si se presentan problemas en el funcionamiento de dicha bomba llamar de inmediato al personal de mantenimiento de la empresa.
- Cada tres meses se debe realizar una inspección dentro del sedimentador secundario. El objetivo de esta inspección es determinar la cantidad de lodos acumulados en esta etapa del proceso, para ello de manera similar que en el reactor biológico se usa un tubo con una tela blanca adherida al mismo. Será necesario la evacuación de los lodos, cuando la altura de los mismos superen en un 25 % la altura operativa del sedimentador secundario, para esta remoción de lodos se procede al igual que en el reactor biológico. Cabe añadir que para esta remoción de lodos se puede usar la bomba de recirculación, cerrando la llave de paso hacia el reactor (recirculación) y abriendo la llave de paso hacia el tanque acumulador de lodos. Además dicha revisión se la debe realizar cuando el sistema de tratamiento no esté en funcionamiento y que el personal que se

encargue de dicho mantenimiento este provisto del equipo de protección personal (guantes, botas y mascarillas como mínimo).

- Una vez al año se debe retirar la bomba de recirculación y enviarla a un técnico electricista para su respectivo mantenimiento preventivo. Se debe realizar una prueba de filtración al sedimentador secundario por lo menos una vez al año, dicha prueba es del tipo hidráulico, la cual consiste en llenar con agua al sedimentador secundario y en un intervalo de 24 horas verificar que el volumen de agua no ha descendido. Si se presentan problemas de filtraciones se debe proceder al igual que en el reactor biológico, como se ilustra en la figura 14.



Figura 14. Reparación de Filtraciones en Reactor y/o Sedimentador

➤ **Sistema de Filtrado**

- Diariamente se debe revisar la bomba de filtración, a fin de que esté operativa y que brinde la presión óptima de trabajo para la etapa de filtrado. En caso de algún problema se procederá a apagar la bomba (bajar el breaker) y comunicar directamente al departamento de mantenimiento de la empresa.
- Mensualmente se debe realizar una limpieza rápida a los filtros, para lo cual los mismos deben ser sometidos a un flujo inverso de agua potable a contracorriente (primero el de grava y luego el de carbón activado) durante 30 minutos cada filtro.
- Por lo general se debe reemplazar la grava cada 4360 horas de trabajo y el carbón activado después de 1440 horas de trabajo.
- Aproximadamente con la condición de 5 horas de trabajo al día del sistema de filtrado se debe cambiar la grava dos años y el carbón activado cada año. Para este mantenimiento se deberán abrir los filtros y retirar totalmente el material

dentro de ellos, ya sea grava o carbón activado, luego se debe limpiar los filtros con abundante agua y proceder el llenado de los mismos. Cabe añadir que los filtros se deben llenar solo las tres cuarta parte ($3/4$) de la capacidad de los mismos.

- Una vez al año se debe retirar la bomba para filtración y enviarla a un técnico electricista para su respectivo mantenimiento preventivo.

ANEXOS

ANEXO A

Resultados de Análisis



FACTURA

No. 001-002-000005905
 NÚMERO DE AUTORIZACIÓN
 1008201701200100200000590509913153140
 FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN 10/08/2017 16:00:37
 AMBIENTE: PRODUCCION
 EMISIÓN: NORMAL
 CLAVE DE ACCESO



1008201701099131531400120010020000059050000590510

R.U.C.: 0991315314001
 GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA GRUQUIMAR
 Dir. Matriz: KM. 11,5 VIA DAULE C.C. P.CALIF. II BL.D-41
 Teléfonos: 042-103390(2) / 042-103825(35)
 Página Web: www.grupoquimicomarcos.com
 Contribuyente Especial Resolución Nro.: NO
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

Razón Social / Nombres y Apellidos: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
 RUC / CI: 0925017618

Fecha Emisión: 10/08/2017

Cant	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
1	ACEITES Y GRASAS	30.0000	9.00	21.00
3	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	35.0000	31.50	73.50
1	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	35.0000	10.50	24.50
3	TENSOACTIVOS-DETERGENTES	35.0000	31.50	73.50

Información Adicional
 DIRECCION SAUCES
 TELEFONO 0925017618
 MAILCLIENTE agmonar@espol.edu.ec
 SERVICIO Servicio de Análisis Ambientales de los Parámetros Solicitados
 Ordenes De Trabajo 67295,67526

SUBTOTAL 12%	192.50
SUBTOTAL 0% -	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTO	192.50
TOTAL DESCUENTO	82.50
SUBTOTAL	192.50
IVA 12%	23.10
VALOR TOTAL	215.60

Son: DOSCIENTOS QUINCE DOLARES 60/100 US Dolares dólares.

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	215.60	5	días

GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA.

CANCELADO

Cheque No.: *efectivo*

Valor: *\$ 215.60*

Roxana Vinuela F.

FIRMA AUTORIZADA

DPTO. CREDITOS Y COBRANZAS

10/08/2017

RECEPCION DE MUESTRAS

NO. ORDEN: 67295 FECHA DE LLEGADA: 2017/07/28 12:37

CLIENTE: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
 DIRECCION: Sauces
 ATENCIÓN A: Sr. Adolfo Monar
 FACTURAR A: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
 DIRECCION: Sauces
 ATENCIÓN A: Sr. Adolfo Monar

ENTREGA DE RESULTADOS: 2017/08/14 PRIORIDAD: A NO. DE MUESTRAS: 1

FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2017/07/28 10:30 MATRIZ: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
 LUGAR MUESTREO: Guayaquil
 IDENTIFICACION: Efluente de AARR para caracterización
 TABLA COMPARATIVA:
 COORDENADAS GEOGRAFICAS: --- MUESTREADO POR : MONAR FREIRE ADOLFO
 TIPO MUESTREO: Compuesto DURACIÓN MUESTREO: 10:30 a 11:30
 NORMA TECNICA: ---N/A

NO. LAB.	CLA. PAR.	PARAMETRO	METODO
67295-1	PO07	Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-05
67295-1	PO10	Demanda Química de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-16
67295-1	OP07	Tensoactivos-Detergentes	PEE-GQM-FQ-21
67295-1	PO02	Aceites y Grasas	PEE-GQM-FQ-03

OBSERVACIONES: Muestra recibida a 11.6 grados centígrados . Muestra compuesta de 1 hora.

Entrega Muestras a GQM Adolfo Monar	Ingresar muestras a Autolab AF	Ing. Muestras Laboratorio	Rec. Muestras Laboratorio
Orden Revisada Por.	Fecha de Revisión	Orden de Servicio en:	Acta de Toma de Muestra en:

OBSERVACIONES:

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 8 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 28/07/17 10:30 Guayaquil
 Fecha y Hora de Recepción: 28/07/17 12:37
 Punto e Identificación de la Muestra: Efluente de AARR para caracterización
 Norma Técnica de muestreo: N/A---
 Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
 Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
 Muestreador: Sr. Adolfo Monar
 Tipo de Muestreo: Compuesto
 10:30 a 11:30

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.
 LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
 ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS
 MC2201-12

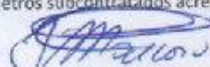
Coordenadas Geográficas: ---

Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Tensoactivos-Detergentes (3)	36,000	10,271	mg/l	PEE-GQM-FQ-21	31/07/17 JV
Aceites y Grasas	36,25	2,97	mg/l	PEE-GQM-FQ-03	03/08/17 NS
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2664,00	127,87	mgO2/l	PEE-GQM-FQ-05	28/07/17 LS
Demanda Química de Oxígeno	3297,80	406,95	mgO2/l	PEE-GQM-FQ-16	28/07/17 LS

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Limite Detectable	L.M.P.	Limite Máximo Permissible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, competencia evaluada - Cap. 5 MC; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec



Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
 Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
 Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
 Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
 Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 8 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 28/07/17 10:30 Guayaquil -
Fecha y Hora de Recepción: 28/07/17 12:37
Punto e Identificación de la Muestra: Efluente de AARR para caracterización
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
Muestreador: Sr. Adolfo Monar
Tipo de Muestreo: Compuesto
10:30 a 11:30

Coordenadas Geográficas: ---

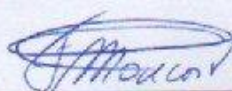
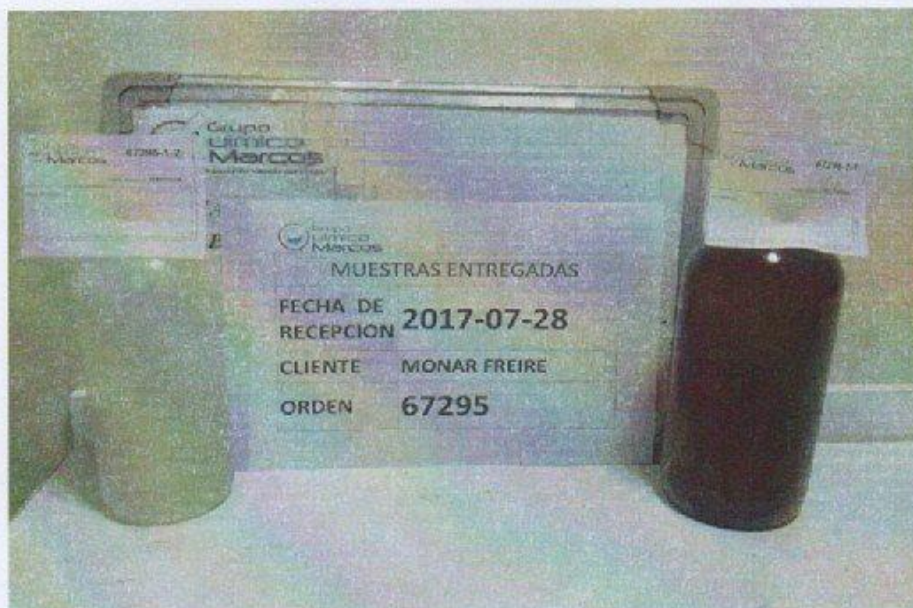
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno,
Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

MEMORIA FOTOGRAFICAQ. F. FERNANDO MARCOS V.
Director TécnicoQ.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule

Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com

Guayaquil - Ecuador

RECEPCION DE MUESTRAS

NO. ORDEN: 67526 **FECHA DE LLEGADA:** 2017/08/10 15:43

CLIENTE: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
DIRECCION: Sauces
ATENCIÓN A: Sr. Adolfo Monar
FACTURAR A: MONARFREIRE MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
DIRECCION: Sauces
ATENCIÓN A : Sr. Adolfo Monar

ENTREGA DE RESULTADOS: 2017/08/23 **PRIORIDAD:** A **NO. DE MUESTRAS:** 2

FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2017/08/10 12:00 **MATRIZ:** AGUA TRATADA
LUGAR MUESTREO: Guayaquil - Laboratorio Espol
IDENTIFICACION: Muestra 1 (Pseudomonas)
TABLA COMPARATIVA:

COORDENADAS GEOGRAFICAS: --- **MUESTREADO POR :** MONAR FREIRE ADOLFO
TIPO MUESTREO: Simple **DURACIÓN MUESTREO:**
NORMA TECNICA: ---N/A

NO. LAB.	CLA. PAR.	PARAMETRO	METODO
67526-1	PO07	Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-05
67526-1	OP07	Tensoactivos-Detergentes	PEE-GQM-FQ-21

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente. A una temperatura de 8,8°C. Hora de llegada 15:30. Envase de vidrio ámbar (1 lt).

FECHA Y HORA DE MUESTREO: 2017/08/10 12:00 **MATRIZ:** AGUA TRATADA
LUGAR MUESTREO: Guayaquil - Laboratorio Espol
IDENTIFICACION: Muestra 2 (Bacillus sp)
TABLA COMPARATIVA:

COORDENADAS GEOGRAFICAS: --- **MUESTREADO POR :** MONAR FREIRE ADOLFO
TIPO MUESTREO: Simple **DURACIÓN MUESTREO:**
NORMA TECNICA: ---N/A

NO. LAB.	CLA. PAR.	PARAMETRO	METODO
67526-2	PO07	Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE-GQM-FQ-05
67526-2	OP07	Tensoactivos-Detergentes	PEE-GQM-FQ-21

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente. A una temperatura de 8,8°C. Hora de llegada 15:30. Envase de vidrio ámbar (1 lt).

Entrega Muestras a GQM	ingresa muestras a Autolab	Ing. Muestras Laboratorio	Rec. Muestras Laboratorio
Sr. Troy Aspiazu	MCH		
Orden Revisada Por:	Fecha de Revisión	Orden de Servicio en:	Acta de Toma de Muestra en:

OBSERVACIONES:

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol

Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43

Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 1 (Pseudomonas)

Norma Técnica de muestreo: N/A---

Matriz de la muestra: AGUA TRATADA

Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Muestreador: Cliente

Tipo de Muestreo: Simple

Coordenadas Geográficas: ---

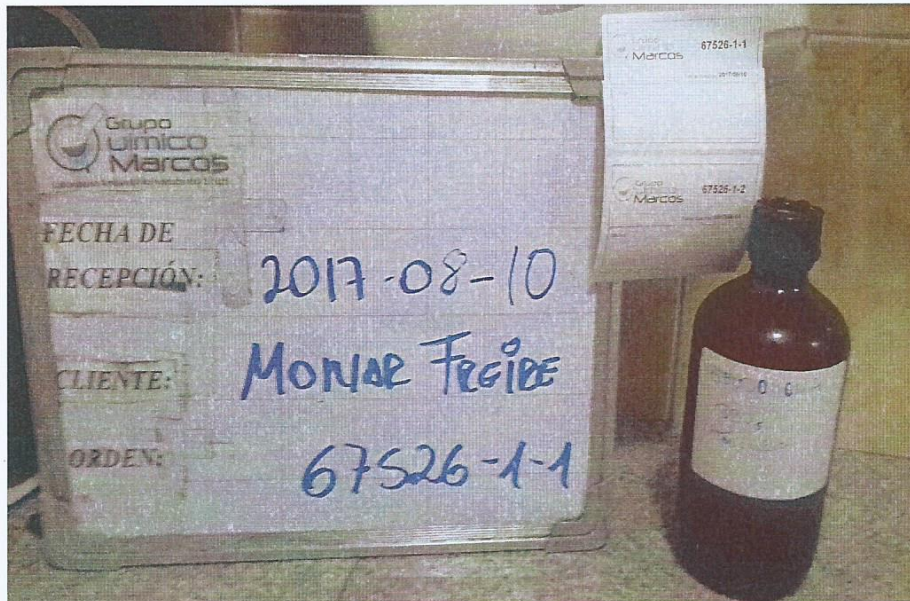
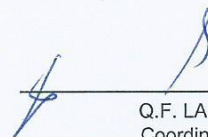
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

MEMORIA FOTOGRAFICAQ. F. FERNANDO MARCOS V.
Director TécnicoQ.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol

Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43

Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 1 (Pseudomonas)

Norma Técnica de muestreo: N/A---

Matriz de la muestra: AGUA TRATADA

Muestreador: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Muestreador: Cliente

Tipo de Muestreo: Simple

Coordenadas Geográficas: ---

Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendidos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Tensoactivos-Detergentes (3)	0,246	0,070	mg/l	PEE-GQM-FQ-21	16/08/17 JV
Demanda Bioquímica de Oxígeno	45,00	2,16	mgO ₂ /l	PEE-GQM-FQ-05	10/08/17 LS

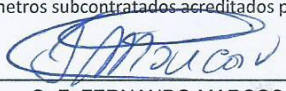
---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permisible	
U	Incertidumbre	P.E.E.	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

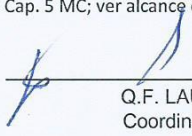
1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.

2: Parámetros subcontratados no acreditados

3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación

4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, competencia evaluada - Cap. 5 MC; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec


Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico


Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol
Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43
Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 2 (Bacillus sp)
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Matriz de la muestra: AGUA TRATADA
Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
Muestreador: Cliente
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: ---

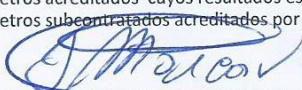
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Sólidos totales y Sólidos Suspendedos totales

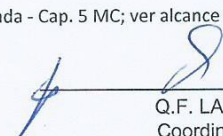
GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.
LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL
ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS
MC2201-12

Parámetro	Resultado	U K=2	Unidades	Método Analítico	Analizado
AGREGADOS ORGANICOS:					
Tensoactivos-Detergentes	2,550	0,728	mg/l	PEE-GQM-FQ-21	16/08/17 JV
Demanda Bioquímica de Oxígeno	39,96	1,92	mgO2/l	PEE-GQM-FQ-05	10/08/17 LS

---	No. Aplica	N.E.	No Efectuado	Método Analítico: Standard Methods 2012, 22 th edition
< LD	Menor al Límite Detectable	L.M.P.	Límite Máximo Permissible	
U	Incertidumbre	P.E.E..	Procedimiento específico de ensayo de GQM	

- 1: Parámetros no incluidos en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- 2: Parámetros subcontratados no acreditados
- 3: Parámetros acreditados cuyos resultados están fuera del alcance de acreditación
- 4: Parámetros subcontratados acreditados por el laboratorio subcontratista, competencia evaluada - Cap. 5 MC; ver alcance en www.acreditacion.gob.ec


Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico


Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule
Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com
Guayaquil - Ecuador

MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Representante Legal: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN

Sauces

Guayaquil, Tel. 0986701855

Atención: Sr. Adolfo Monar

Tipo de Industria

Guayaquil, 21 DE AGOSTO DEL 2017

DATOS DE MUESTREO

Fecha, Hora y lugar de Muestreo: 10/08/17 12:00 Guayaquil - Laboratorio Espol
Fecha y Hora de Recepción: 10/08/17 15:43
Punto e Identificación de la Muestra: Muestra 2 (Bacillus sp)
Norma Técnica de muestreo: N/A---
Matriz de la muestra: AGUA TRATADA
Muestreado por: MONAR FREIRE ADOLFO GERMAN
Muestreador: Cliente
Tipo de Muestreo: Simple
Coordenadas Geográficas: ---

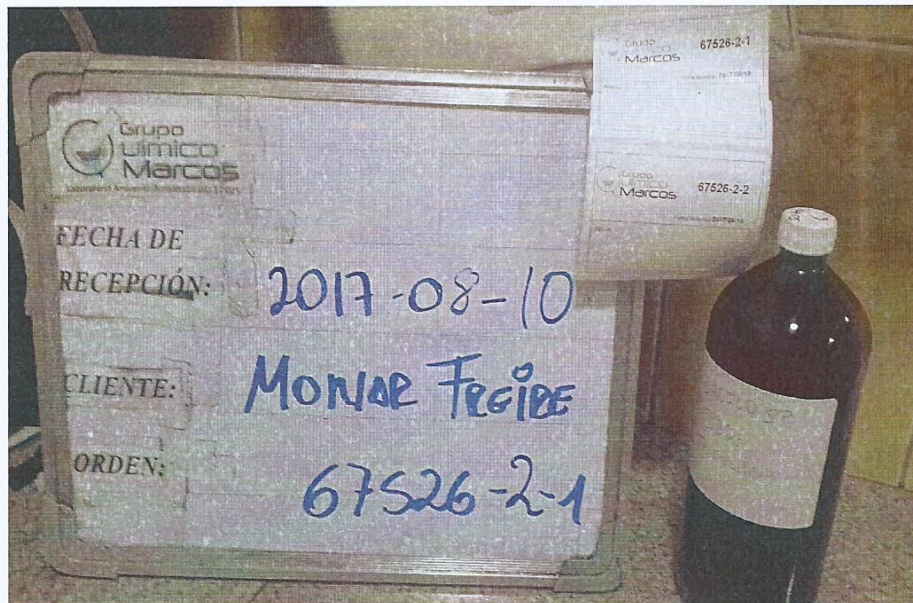
Muestreo: Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas naturales y residuales. Parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Aceites y Grasas, Hidrocarburos totales de petróleo, Solidos totales y Solidos Suspendidos totales

GRUPO QUIMICO MARCOS Cia. Ltda.

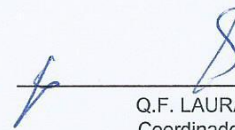
LA AUSENCIA DE ESTE SELLO INVALIDA EL

ORIGEN DEL INFORME DE RESULTADOS

MC2201-12

MEMORIA FOTOGRAFICA

Q. F. FERNANDO MARCOS V.
Director Técnico



Q.F. LAURA YANQUI M.
Coordinadora de calidad

Los resultados de este informe de ensayo solo son aplicables a las muestras analizadas.
Este informe de ensayo no deberá reproducirse más que en su totalidad, con autorización escrita de G.Q.M.
Las muestras serán retenidas por 7 días a partir de la fecha de entrega de resultados.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 Km. 11 1/2 vía a Daule

Teléfonos 2-103390(2) / 2-103825(35) / 0998-286653

www.grupoquimicomarcos.com

Guayaquil - Ecuador

ANEXO B

Registro Fotográfico

Sección A: Medición de Caudales y Toma de Muestra



Fig. A1



Fig. A2



Fig. A3



Fig. A4



Fig. A5



Fig. A6



Fig. A7



Fig. A8

Sección B: Laboratorio Grupo Químico Marcos S.A.

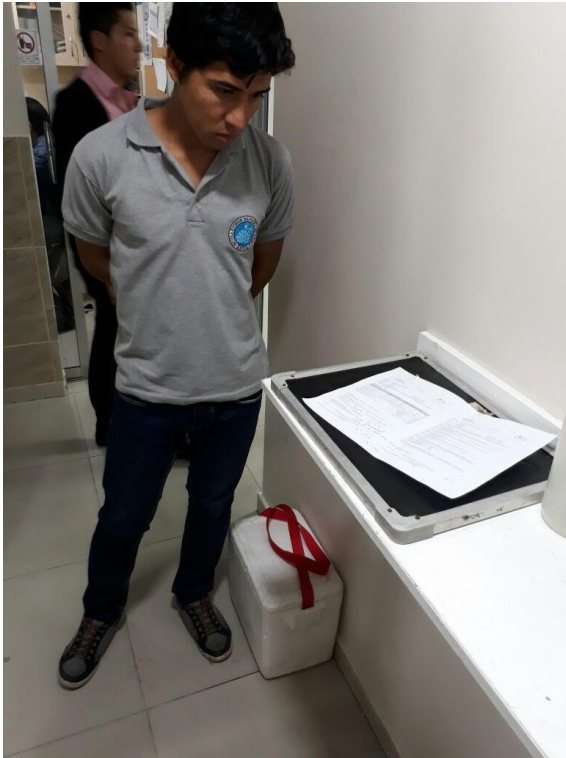


Fig. B1

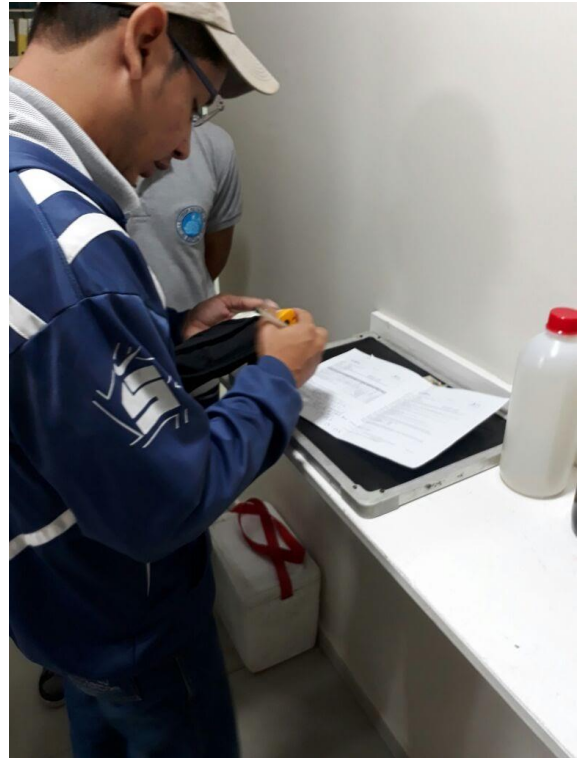


Fig. B2




Fig. B3



Fig. B4



Fig. B5

 **Grupo Químico Marcos**

RECIBO DE CAJA

HEMOS RECIBIDO DE: Monica Freire Adolfo Egerman VALOR: 211,68
RUC: 0925017618

LA CANTIDAD DE: doscientos once 68/100 dólares

POR CONCEPTO DE: pago c 28 170

FECHA: Septiembre, 2017-07-28

GRUPO QUIMICO MARCOS C LTDA
GRUQUIMAR
Roxana Vinuesa
RECIBI CONFORME

[Signature]
ENTREGUE CONFORME

Fig. B6

Sección C: Análisis en laboratorios de la ESPOL



Fig. C1

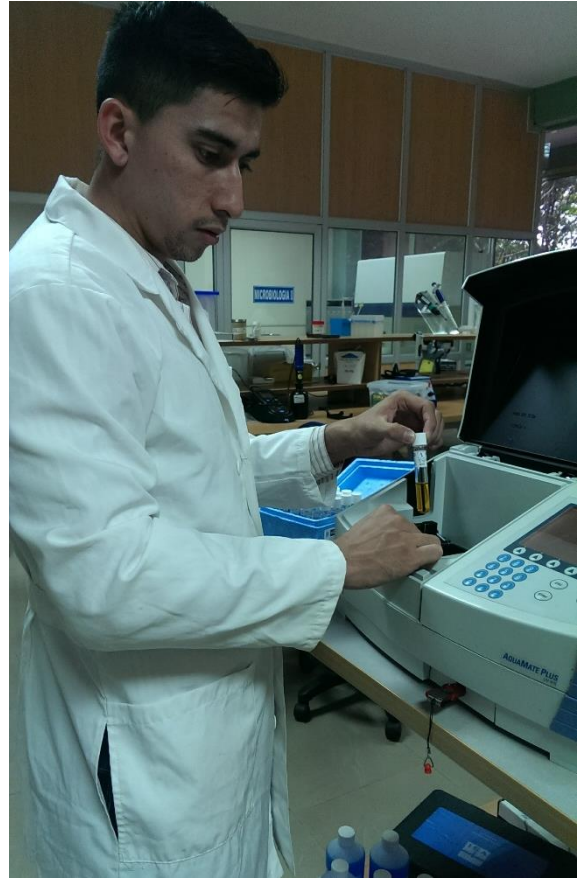


Fig. C2



Fig. C3



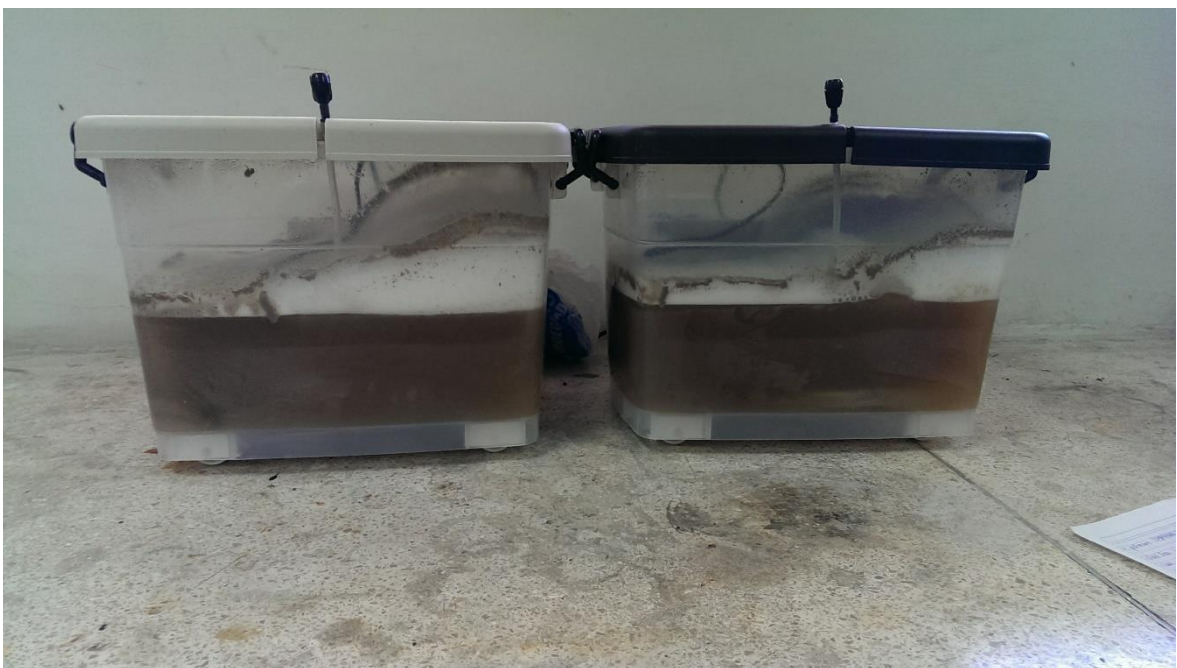
Fig. C4

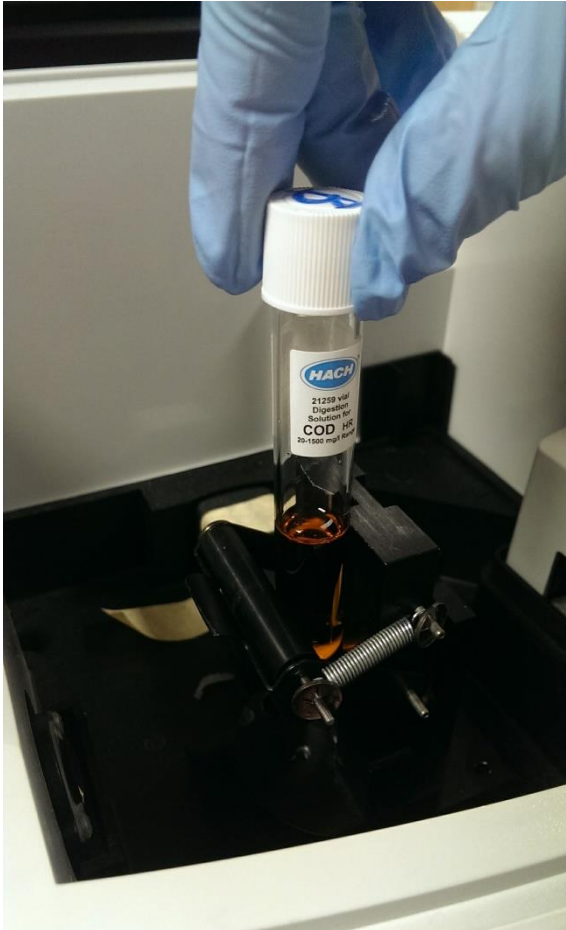
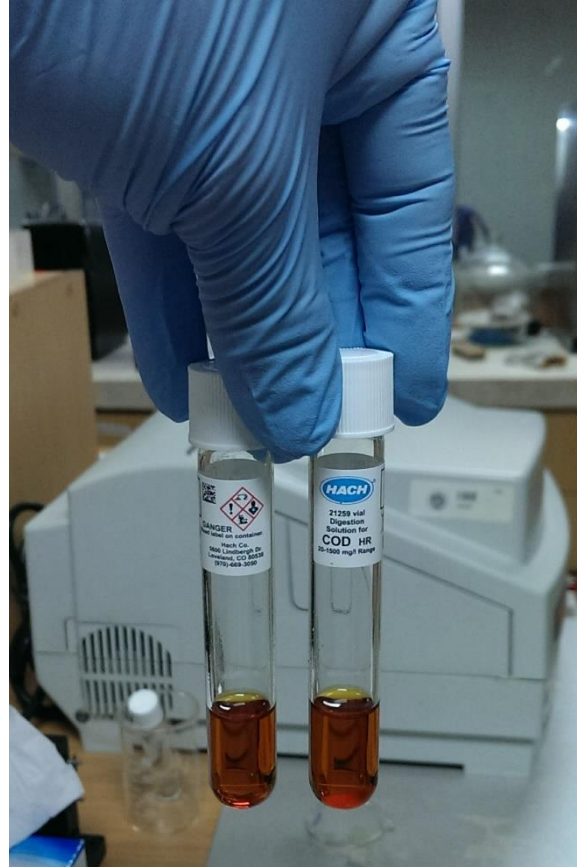
Sección D: Experimentación

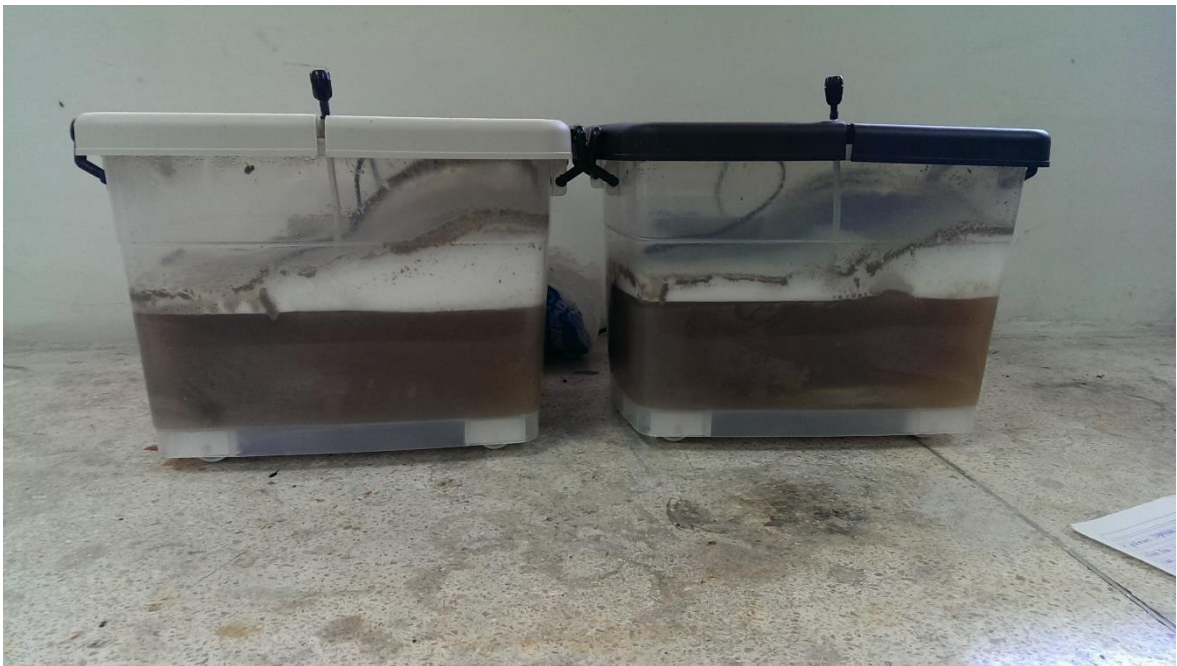


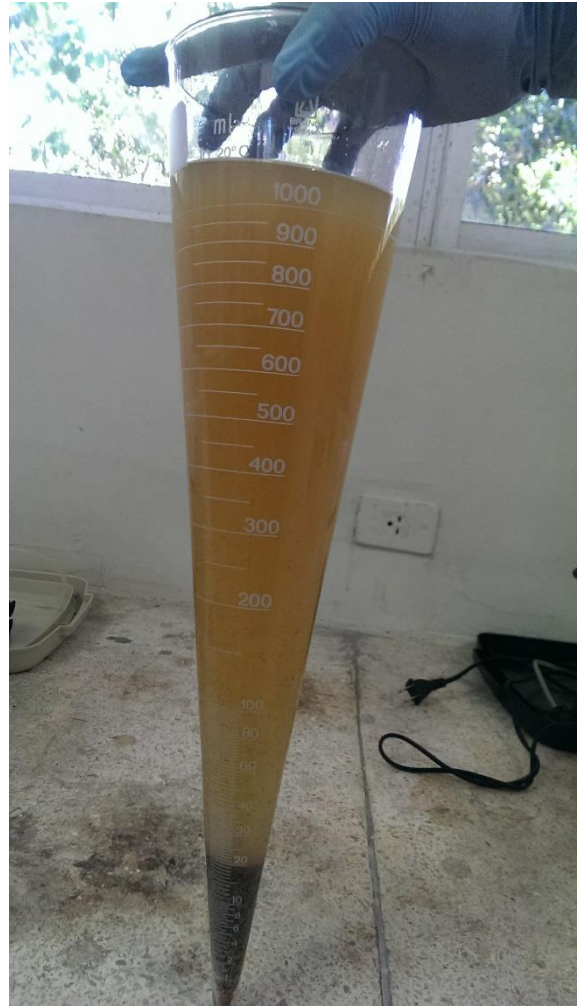




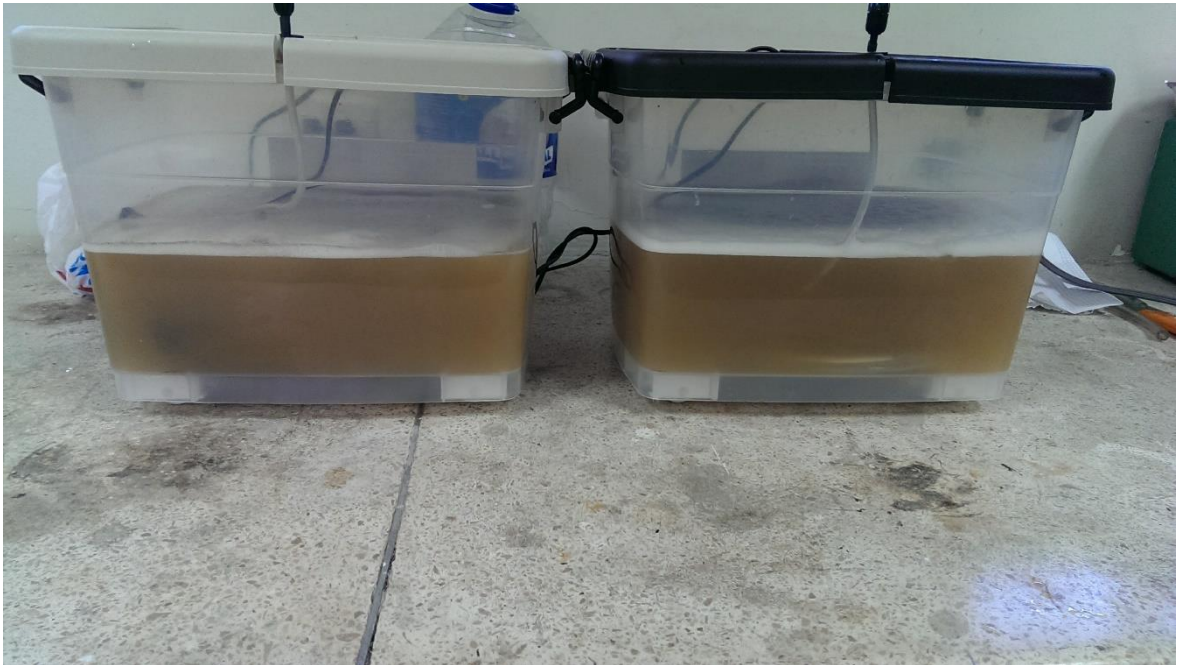
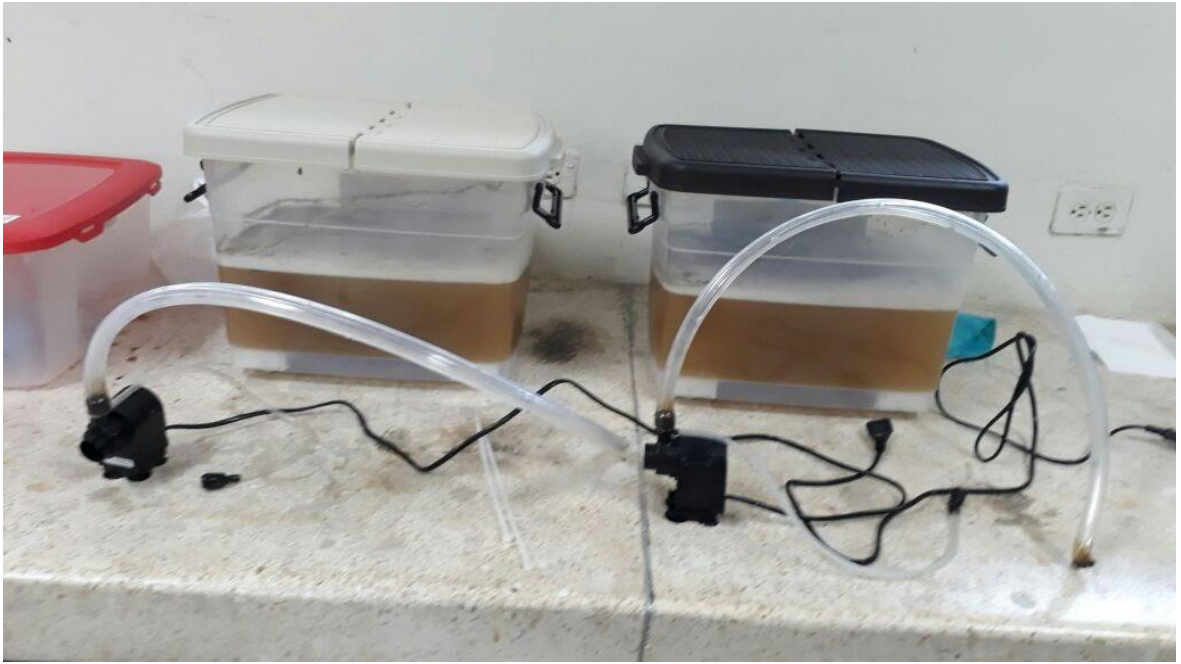


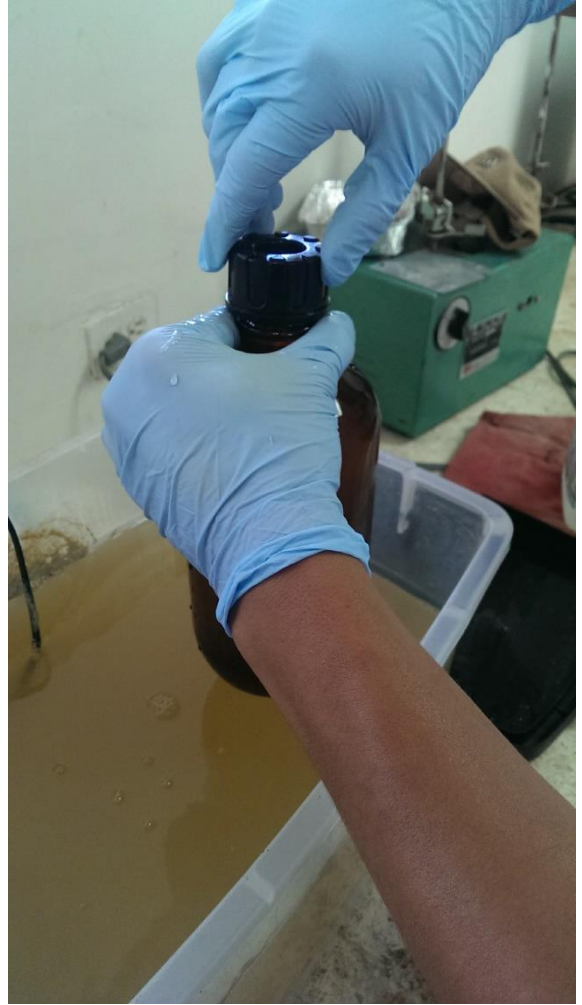












ANEXO C

Manuales

Manual de Operación

En esta sección se describe la correcta operación de los equipos o sistemas en las diferentes etapas del tratamiento propuesto.

➤ Revisión del Panel de control

El sistema de tratamiento propuesto para las descargas líquidas de la empresa tendrá un panel de control, el cual servirá para el encendido y apagado de las tres bombas que tendrá dicho sistema. El panel de control deberá estar ubicado en un lugar visible y accesible dentro de la empresa, preferiblemente a un lado del sistema de tratamiento, como se observa en la figura 1.

El panel contendrá 3 perillas de encendido/apagado. Inicialmente las perillas se presentan en posición de apagado como se muestra en la figura 2. Al momento de encender alguna bomba del sistema únicamente se tendrá que girar hacia la derecha la perilla respectiva, como se ilustra en la figura 3.



Figura 1. Panel de Control

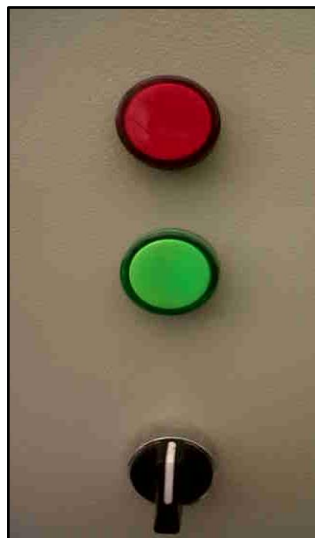


Figura 2. Posición de Apagado

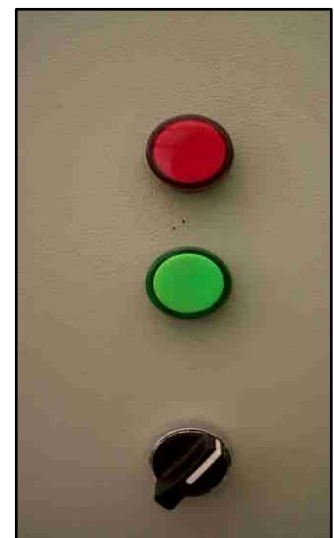


Figura 3. Posición de Encendido

IMPORTANTE: En caso de cualquier problema que se presente en el panel de control, se deberá proceder al uso del botón de emergencia que se encuentra en la parte lateral superior, suspendiendo de esta manera el funcionamiento del sistema. Posteriormente se verificará que los 3 botones estén en la posición de apagado (figura 3.11), e inmediatamente llamar al personal de Mantenimiento de la empresa (preferiblemente a un técnico electricista).

➤ **Revisión del Sistema de Desbaste y Trampa de Grasas**

La primera etapa del proceso propuesto, es el sistema de desbaste y trampa de grasas. En esta parte del proceso, para la retención de los sólidos en los efluentes se va a usar una rejilla de acero inoxidable con perforaciones circulares de 5 mm de diámetro (figura 4). Se deberá verificar que el paso de agua residual al proceso se dé sin interrupciones, para el correcto funcionamiento del proceso. Esto se logra observando al interior de la caja, en donde está colocada la rejilla de desbaste, en el cual se debe verificar que los sólidos queden retenidos en la rejilla y de esta manera asegurar que solo pase agua al siguiente sistema del proceso.

Una vez que los efluentes pasan por la rejilla de desbaste entran al sistema de trampa de grasas, el cual es el último pre tratamiento que se le da a dicho efluentes para poder ingresar de una mejor manera al reactor biológico. Para la verificación de esta etapa se debe comprobar visualmente que los aceites y grasas queden suspendidos en la superficie y que estos no ingresen al reactor biológico, como se muestra en la figura 5.

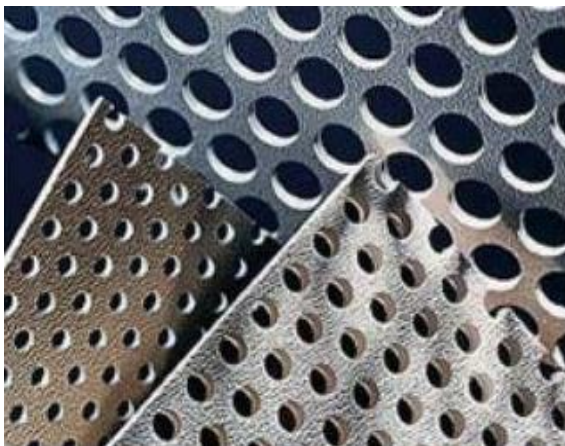


Figura 4. Perforaciones de la Rejilla de Desbaste



Figura 5. Trampa de Grasas

➤ **Revisión del Reactor Biológico y Sedimentador Secundario**

Este es el proceso más importante del sistema propuesto, ya que en esta etapa se realiza la reducción de la concentración de los parámetros (DBO₅, DQO y tensoactivos) que exige el municipio de Guayaquil para poder descargar los efluentes al alcantarillado público. En esta parte del proceso se debe levantar las tapas del reactor (figura 5) y sedimentador secundario (figura 6) para visualmente

verificar que no exista alguna anomalía en el interior de estos. En el caso del reactor biológico se debe comprobar que el pH este dentro del intervalo de 6,5 a 9, caso contrario se deberá realizar el ajuste a dicho pH, para eso se usarán soluciones ácidas o básicas dependiendo del caso. También en esta etapa se debe verificar el correcto funcionamiento de las bombas, en primer lugar se debe verificar la bomba de aireación (figura 7), esta verificación se la realiza tocando la parte superior de la tubería de aire, para así comprobar que esta encendió con normalidad. Finalmente para la verificación de la bomba de recirculación del sedimentador secundario, simplemente se debe escuchar el sonido de la bomba al momento de encender.

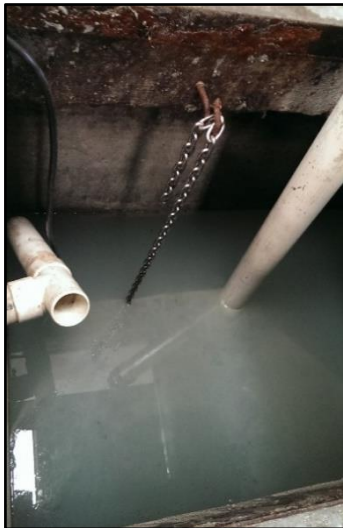


Figura 5. Reactor Biológico

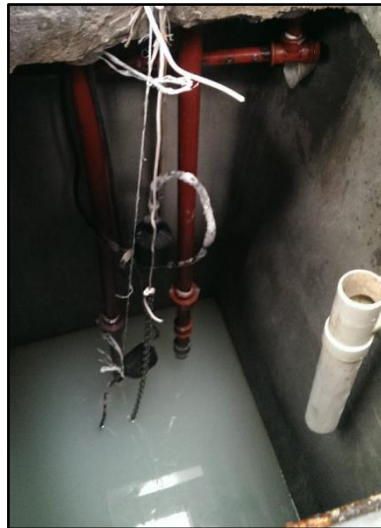


Figura 6. Sedimentador Secundario



Figura 7. Bomba de Aireación

➤ **Revisión del Sistema de Filtrado**

Esta parte del proceso se la denomina como “pulimiento” para el sistema de tratamiento propuesto, ya que con los filtros (figura 8) se obtiene un tratamiento más minucioso en la parte de retención de algún sólido (filtro de grava), o algún mal olor (filtro de carbón activado) que no se haya podido eliminar en etapas anteriores. Para la verificación de esta etapa del proceso se debe comprobar que la bomba para los filtros encienda con normalidad, esta verificación se la hace de manera auditiva. Además se debe comprobar que los filtros estén en buen estado visualmente y que estos no presenten alguna perforación por algún exceso de presión. Por lo general para un buen funcionamiento de los filtros la presión de trabajo no deberá superar los 75 PSI.



Figura 8. Filtros de Grava y de Carbón Activado

Proceso para el Encendido del Sistema de Tratamiento

1. Abrir el panel de control y encender el breaker principal para el suministro de energía eléctrica al sistema.
2. Encender y verificar el correcto funcionamiento de la bomba de aireación para el adecuado suministro de oxígeno en el interior del reactor biológico.
3. Levantar la tapa de la caja de las descargas de los efluentes de la empresa, y verificar el correcto funcionamiento de la rejilla de desbaste y de la trampa de grasas. Si se observa una gran cantidad de sólidos retenidos y de grasa flotante realizar la evacuación de los mismos.
4. Levantar la tapa del reactor biológico y verificar su correcto funcionamiento. Se deberá medir el pH, el cual deberá estar entre un valor de 6,5 a 9, caso contrario se deberá regular dicho pH.
5. Levantar la tapa del sedimentador secundario y verificar su correcto funcionamiento.
6. Abrir la llave de paso de agua hacia los filtros (grava y carbón activado), encender y verificar el correcto funcionamiento de la bomba para filtración. Esta etapa de filtrado no es del carácter obligatorio, se recomienda trabajar con los filtros 5 horas al día, preferiblemente por las mañanas (el agua que queda retenida en el sedimentador secundario por las noches estará bien clarificada por las mañanas). Cabe recalcar que la toma de muestras del

sistema de tratamiento propuesto deben ser tomadas a la salida del sistema de filtración, para así brindar mejores resultados al momento de los análisis.

7. Abrir la llave de paso de agua a la salida de los filtros (descarga de los efluentes tratados hacia la red de alcantarillado público) y verificar el correcto funcionamiento de los mismos, revisando la presión de estos (< 75 PSI).

Proceso para el Apagado del Sistema de Tratamiento

1. Apagar la bomba de filtración y cerrar las llaves de paso, tanto a la entrada como a la salida del proceso de filtración.
2. Apagar la bomba de aireación.
3. Abrir la llave de paso respectiva, encender y verificar el correcto funcionamiento de la bomba de recirculación del sedimentador secundario durante aproximadamente 60 segundos, para que así se logre una recirculación de los lodos (del sedimentador secundario hacia el reactor biológico).
4. Finalmente se deja apagado el breaker principal, esto se lo realiza por motivos de protección de los equipos eléctricos.

Manual de Mantenimiento

Las labores de mantenimiento pueden ser del tipo preventivo (ocasionales) o correctivos si se presenta algún problema en algunos de los equipos o etapas en el sistema propuesto. Con un buen mantenimiento se garantiza una vida útil más larga de los equipos y además se reduce la posibilidad de accidentes y emergencias. A continuación se describe el adecuado mantenimiento de los equipos o sistemas en las diferentes etapas del tratamiento propuesto.

➤ Panel de Control

- Diariamente se debe comprobar visualmente un buen estado del panel eléctrico, verificando un buen estado de la tapadera y la cantidad de tornillos que sujetan a la misma.
- Mensualmente se debe verificar que todos los interruptores térmicos y breakers estén enganchados correctamente a las barras de alimentación. Como se observa en la figura 9 se debe verificar que los pernos o tornillos que sujetan a los cables o alambres alimentadores se encuentren bien apretados (verificar flojos o dañados).
- Trimestralmente con la ayuda de un amperímetro se debe verificar el correcto funcionamiento de los interruptores térmicos y de los breakers (figura 10). Además se debe comprobar que el conductor de tierra esté debidamente apretado y que tenga continuidad eléctrica con la estructura del tablero.
- Por lo menos una vez al año con la ayuda de una brocha, debidamente aislada realizar una limpieza en el interior del tablero, removiendo polvo, cinta adhesiva sobrante, escombros de reparaciones anteriores, etc. Después de realizar la limpieza con la brocha se debe utilizar un spray lubricante para evitar la corrosión y mal funcionamiento de los contactos eléctricos (se puede utilizar un tubo de extensión para aplicaciones precisas). Si existe empalmes entre los conductores comprobar que estos se encuentren en buen estado y que la cubierta de cinta adhesiva no se encuentre deteriorada (figura 11).



Figura 9. Ajuste de Pernos



Figura 10 Comprobación Eléctrica



Figura 11. Colocación de Spray

➤ **Sistema de Desbaste y Trampa de Grasas**

- Diariamente se debe verificar que la rejilla de desbaste este en buen estado y que los efluentes de la empresa fluyan a través de ella sin dificultad.
- Mensualmente se debe destapar la caja de las descargar de los efluentes y realizar una limpieza de la rejilla, removiendo los sólidos adheridos en ella (plástico, papel, cartón, etc.). De igual manera se debe retirar la grasa sobrenadante alrededor de la trampa de grasas.
- Por lo menos una vez al año se debe retirar la rejilla de desbaste para mantenimiento. Dicho mantenimiento consiste en limpiar, lijar y pintar con pintura anticorrosiva la rejilla (figura 12). Si se verifica que la rejilla posee un deterioro severo se debe realizar el cambio de la misma. En cuanto a la trampa de grasa se debe realizar una limpieza con cloro y detergente, para así remover la acumulación de moho.

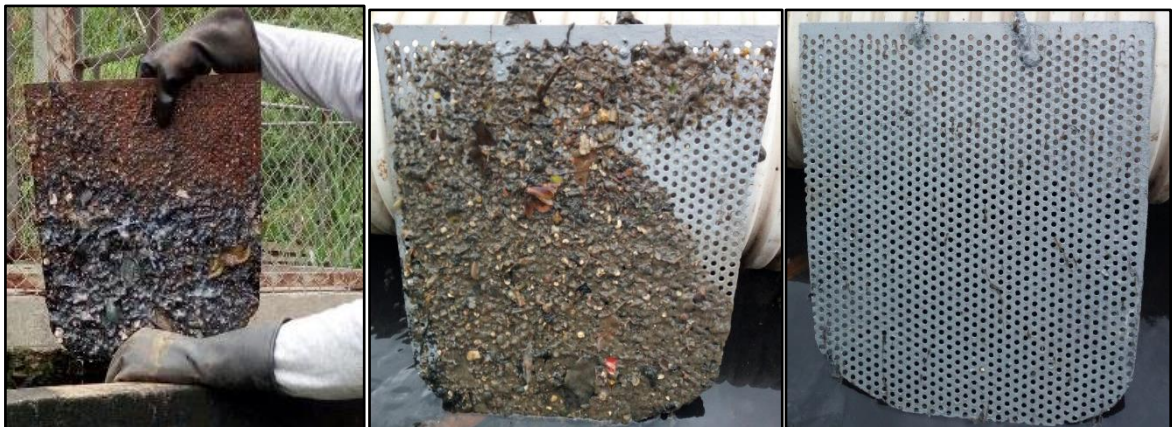


Figura 12. Mantenimiento a la Rejilla de Desbaste

➤ **Reactor Biológico**

- Diariamente se debe verificar un buen funcionamiento de la bomba de aireación, esto se lo realiza escuchando el sonido de la bomba al momento de encender y sintiendo la vibración de la misma tocando el tubo de aire. Si se presentan problemas en el funcionamiento de dicha bomba llamar de inmediato al personal de mantenimiento de la empresa. Se debe tener un control del pH (6 – 9), para así evitar que existan problemas dentro del reactor.
- Cada seis meses se debe realizar una inspección dentro del reactor. La inspección tiene como objetivo determinar el espesor de los lodos acumulados. Para esta labor se usa un tubo metálico, al cual en su parte inferior se le envuelve una tela blanca, luego se sumerge el tubo dentro del reactor y después de un par de minutos se lo retira, observándose una sección de lodos por las partículas que quedan adherida a la tela. Gracias a dicha inspección se tiene un control de la biomasa que se está generando dentro del reactor, si esta biomasa está en constante aumento se puede concluir que existe un buen funcionamiento en esta etapa del proceso (la biomasa se forma por la degradación de materia orgánica). Será necesario la evacuación de los lodos, cuando la altura de los mismos superen en un 25 % la altura operativa del reactor. Por lo general la extracción de lodos se la puede realizar con un balde provisto de un mango largo o utilizando una bomba manual de succión de lodos (bomba de diafragma). No se debe realizar la remoción de los lodos en su totalidad, ya que esto puede desestabilizar el sistema de tratamiento, normalmente se debe dejar de extraer los lodos cuando se observe que estos están muy diluidos. Cabe añadir que dicha revisión se la debe realizar cuando el sistema de tratamiento no esté en funcionamiento y que el personal que se encargue de dicho mantenimiento este provisto del equipo de protección personal (guantes, botas y mascarillas como mínimo).
- Una vez al año se debe retirar la bomba de aireación (figura 13) y enviarla a un técnico electricista para su respectivo mantenimiento preventivo. Además se debe realizar una prueba de filtración al reactor por lo menos una vez al año, dicha prueba es del tipo hidráulico, la cual consiste en llenar con agua al reactor y en un intervalo de 24 horas verificar que el volumen de agua no ha descendido. En caso de que se presenten filtraciones, se debe de inmediato vaciar en su totalidad la cámara del reactor biológico y proceder a su respectivo

mantenimiento (cubrir las paredes y el piso del reactor con una capa de cemento hidráulico de fraguado rápido para así sellar dichas filtraciones).



Figura 13. Limpieza de la Bomba de Aireación

➤ **Sedimentador Secundario**

- Diariamente después de una jornada de trabajo (18:00pm) se debe realizar la recirculación de lodos, para esto se usa la bomba de recirculación que está ubicada en el interior del sedimentador secundario. En esta etapa se debe verificar el correcto funcionamiento de la bomba de recirculación. Si se presentan problemas en el funcionamiento de dicha bomba llamar de inmediato al personal de mantenimiento de la empresa.
- Cada tres meses se debe realizar una inspección dentro del sedimentador secundario. El objetivo de esta inspección es determinar la cantidad de lodos acumulados en esta etapa del proceso, para ello de manera similar que en el reactor biológico se usa un tubo con una tela blanca adherida al mismo. Será necesario la evacuación de los lodos, cuando la altura de los mismos superen en un 25 % la altura operativa del sedimentador secundario, para esta remoción de lodos se procede al igual que en el reactor biológico. Cabe añadir que para esta remoción de lodos se puede usar la bomba de recirculación, cerrando la llave de paso hacia el reactor (recirculación) y abriendo la llave de paso hacia el tanque acumulador de lodos. Además dicha revisión se la debe realizar cuando el sistema de tratamiento no esté en funcionamiento y que el personal que se

encargue de dicho mantenimiento este provisto del equipo de protección personal (guantes, botas y mascarillas como mínimo).

- Una vez al año se debe retirar la bomba de recirculación y enviarla a un técnico electricista para su respectivo mantenimiento preventivo. Se debe realizar una prueba de filtración al sedimentador secundario por lo menos una vez al año, dicha prueba es del tipo hidráulico, la cual consiste en llenar con agua al sedimentador secundario y en un intervalo de 24 horas verificar que el volumen de agua no ha descendido. Si se presentan problemas de filtraciones se debe proceder al igual que en el reactor biológico, como se ilustra en la figura 14.



Figura 14. Reparación de Filtraciones en Reactor y/o Sedimentador

➤ **Sistema de Filtrado**

- Diariamente se debe revisar la bomba de filtración, a fin de que esté operativa y que brinde la presión óptima de trabajo para la etapa de filtrado. En caso de algún problema se procederá a apagar la bomba (bajar el breaker) y comunicar directamente al departamento de mantenimiento de la empresa.
- Mensualmente se debe realizar una limpieza rápida a los filtros, para lo cual los mismos deben ser sometidos a un flujo inverso de agua potable a contracorriente (primero el de grava y luego el de carbón activado) durante 30 minutos cada filtro.
- Por lo general se debe reemplazar la grava cada 4360 horas de trabajo y el carbón activado después de 1440 horas de trabajo.
- Aproximadamente con la condición de 5 horas de trabajo al día del sistema de filtrado se debe cambiar la grava dos años y el carbón activado cada año. Para este mantenimiento se deberán abrir los filtros y retirar totalmente el material

dentro de ellos, ya sea grava o carbón activado, luego se debe limpiar los filtros con abundante agua y proceder el llenado de los mismos. Cabe añadir que los filtros se deben llenar solo las tres cuarta parte ($3/4$) de la capacidad de los mismos.

- Una vez al año se debe retirar la bomba para filtración y enviarla a un técnico electricista para su respectivo mantenimiento preventivo.