

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

ESCUELA DE BIOLOGÍA



Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura

**CARACTERIZACION DE BACTERIAS FILAMENTOSAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN
REACTOR AEROBIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
ORIGEN CERVECERO.**

PRESENTADO POR:

Br. MARÍA LEONOR PÉREZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, 24 DE JUNIO DE 2016.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA

**CARACTERIZACION DE BACTERIAS FILAMENTOSAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN
REACTOR AEROBIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
ORIGEN CERVECERO.**

PRESENTADO POR:

Br. MARÍA LEONOR PÉREZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA.

ASESORA:

ASESORA INTERNA:

MSc. ZOILA VIRGINIA GUERRERO MENDOZA

CIUDAD UNIVERSITARIA, 24 DE JUNIO DE 2016.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

**CARACTERIZACION DE BACTERIAS FILAMENTOSAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN
REACTOR AEROBIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
ORIGEN CERVECERO.**

PRESENTADO POR:

Br. MARÍA LEONOR PÉREZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA.

ASESORA

M.Sc. ZOILA VIRGINIA GUERRERO MENDOZA

CIUDAD UNIVERSITARIA, 24 DE JUNIO DE 2016.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS:

RECTOR INTERINO

LIC. JOSE LUIS ARGUETA ANTILLON

SECRETARIA GENERAL

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FISCAL GENERAL

LIC. FRANCISCO CRUZ LETONA

DECANO DE LA FACULTAD

LIC. MAURICIO HERNAN LOVO CORDOVA

SECRETARIO DE LA FACULTAD

LIC. DAMARIS MELANY HERRERA TURCIOS

DIRECTORA ESCUELA DE BIOLOGÍA

MSc. ANA MARTHA ZETINO CALDERON

CIUDAD UNIVERSITARIA, 24 DE JUNIO DE 2016.

ASESORA Y JURADOS

ASESORA:

M.Sc. ZOILA VIRGINIA GUERRERO MENDOZA

JURADOS:

MAESTRA DINA ANGELICA HENRIQUEZ DE GUIDOS

F: _____

LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCÍA

F: _____

CIUDAD UNIVERSITARIA, 24 DE JUNIO DE 2016.

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO: Primeramente por prestarme la vida y por darme la capacidad de superar una de mis metas, además de darme la sabiduría necesaria para afrontar cada reto que se presenta, por ser ejemplo de vida a seguir, y todas las bendiciones para mí y los que me rodean a lo largo de todos estos años.

A MI MADRE LEONOR PORTILLO: Mis más sinceros agradecimientos y respeto porque con su esfuerzo y sacrificio me ha permitido llegar hasta esta instancia, por su amor, ejemplo y apoyo que ha brindado a lo largo de mi vida, Muchas Gracias, Mamá

A MI ESPOSO MIGUEL ÁNGEL: Gracias por tu amor por su comprensión y cariño por el tiempo que no compartimos por el proceso de educación. Porque tú has sido sumamente importante, estuviste a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, siempre ayudándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo siempre fuiste muy motivador y esperanzador en decirme que lo lograría perfectamente. Me ayudaste hasta donde te era posible, incluso más que eso. Muchas Gracias, Amor

A MI HIJO ANGEL JOSUE: Quiero agradecerte de una manera muy especial por soportar largas horas sin mi compañía, sin poder entender, a tu corta edad, por qué preferiría estar frente a la pantalla y no acostada jugando junto a ti. A pesar de ello tú llenas mi vida de ánimos y fuerzas.

Muchas Gracias, Ángel

A MI FAMILIA Y AMIGOS: Por compartir conmigo grandes momentos y siempre estar a mi lado, por su apoyo incondicional y a todos aquellos que estuvieron cerca de mi quiero agradecerles ya que de alguna u otra forma contribuyeron para llegar hasta aquí. A todos Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que colaboraron en forma económica la presente investigación como Industrias la constancia. S.A. de C.V. Que financio pruebas de laboratorio. Y al personal de la PTAR, Muchas gracias

ASESORA:

M.Sc. ZOILA VIRGINIA GUERRERO MENDOZA. Me gustaría agradecer sinceramente a ella quien fue mi tutora, mi segunda madre por su generosidad al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia en un marco de confianza, afecto y amistad y sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador

A su manera ha sido capaz de ganarse mi admiración y lealtad, así como siento una deuda con ella por todo lo recibido durante el periodo de tiempo que ha durado mi trabajo de graduación. Muchas Gracias.

A LOS MIEMBROS DEL JURADO EXAMINADOR: Maestra Dina Angélica Henríquez De Guidos Y el Lic. Douglas Ernesto García. Por sus acertadas observaciones con el fin de mejorar este documento.

Al personal Docente de la Escuela de Biología.

Al M.Sc. Francisco Chicas Batres. Por su trabajo como maestro y amigo incondicional y por apoyarme en mi labor y por sus buenos consejos.

A M.Sc. Yanira López Ventura por su apoyo y sus aportes que me brindo en todo momento.

A Lic. Melany Turcios, por su valiosa ayuda cuando más necesite y su compromiso incondicional le agradezco de corazón.

A Junta Directiva de la Facultad por su valiosa ayuda ya que sin dudar aceptaron mis solicitudes de igual manera a todos sus miembros.

Agradecimiento póstumo: al Ing. Oscar Lemus quien fue miembro docente de la Escuela de Matemática por su valiosa orientación para la realización de este trabajo.

Por ultimo agradecerles a todas, las personas no mencionadas aquí y que ayudaron a la realización de este proyecto a todas infinitas gracias.

Tabla de contenido

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS:	4
ASESORA Y JURADOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE GRÁFICOS	13
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE ANEXOS	16
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
1. INTRODUCCIÓN	19
2. OBJETIVOS	21
2.1 General	21
2.2 Específicos	21
3. FUNDAMENTO TEÓRICO	22
3.1 Aguas residuales	22
3.1.1 Definición	22
3.1.2 Tipos de Agua en El Salvador.	22
3.1.3 Tipos de Aguas internacionales	22
3.1.4 Características	23
4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	28
4.1 Estación de Bombeo	28
4.2 Separadora de Sólidos	29
4.3 Tanque Homogenizador (Buffer Basin BB)	29
4.4 Tanque de Acidificación (ACB)	30
4.5 Tratamiento Biológico Anaeróbico	30
4.5.1 Alta Carga	30
4.5.2 Baja Carga	31
4.6 Tratamiento Biológico Aeróbico	31

4.6.1 Tanque de Lodos Activados	31
4.6.2 Clarificador	32
4.6.3 Pulición	32
4.6.4 Biofiltro	32
5. TRATAMIENTO DE LODOS.....	33
5.1 Desinfección.....	33
5.2 Tratamientos Biológicos	34
5.3 Composición Típica de las Aguas Residuales Industriales de Origen Cervecerero	35
5.4 Proceso de Lodos Activados.....	36
5.5 Microbiología de los Lodos Activados.....	38
5.6 Abultamiento del Lodo en el Proceso de Lodos Activados	41
5.7 Composición de Lodos Activados.	43
6. LAS BACTERIAS DE LODOS ACTIVADOS.....	45
6.1 Introducción General a las Bacterias	45
6.1.1 Descripción.....	45
6.1.2 Características Físicas y Morfológicas.	45
6.1.3 Reproducción.	46
6.1.4 Agrupaciones Bacterianas.	47
6.2 Bacterias Componentes de los Fangos activos	47
6.2.1 Bacterias Formadoras de Flóculo	47
6.2.2 Bacterias Dispersas.....	47
6.2.3 Bacterias Filamentosas.	48
7. NORMAS INTERNACIONALES REFERENTES AL AGUA	49
7.1 Principios de Dublín y AGENDA 21.....	49
7.2 AGENDA 21, Cumbre de La Tierra (Rio de Janeiro1992).....	50
7.3 Convenciones y Foros Internacionales sobre la Gestión del Agua.	50
8. METODOLOGÍA	52
8.1 Descripción del Área de Estudio	52
8.2 Fase de Campo	53
8.2.1 Muestreo	53
8.3 Fase de laboratorio.....	54
8.3.1 Parámetros Físico-Químicos	54
8.3.1.1 PH y Temperatura.....	55
8.3.1.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	56
8.3.1.6 Sólidos Suspendidos Totales	58

8.4 Parámetros operativos	58
8.4.1 Caudal	58
8.4.2 Cargas Orgánicas (F/M)	58
8.4.3 Alimentos a Microorganismos Ratio (F / M)	59
8.4.4 Índice Volumétrico de Lodos	59
8.5 Análisis biológicos	59
8.5.1 Equipo	60
8.5.2 Características del Lodo Fresco	60
8.5.3 Análisis de las Bacterias Filamentosas	60
8.5.4 Muestras	60
9. RESULTADOS	62
9.1 Resultados: Entrada y Salida ASB	63
9.2 Resultados: Tanque de Oxidación	64
9.3 Análisis Biológicos	64
9.3.1 Procedimiento:	65
9.3.2 Tinción de Gram (Método Hücker Modificado)	65
TABLA 4.	67
9.4 Análisis de Resultados.	68
9.4.1 Análisis de la Temperatura de los Muestreos (tabla 2)	68
9.4.2 Análisis de PH de los Muestreos. (tabla2)	69
9.4.3 Análisis de la Demanda Química de Oxígeno de los Muestreos. (tabla2)	69
9.4.4 Análisis de la Demanda biológica De oxígeno en Cinco Días (tabla2)	70
9.5 Parámetros Operativos.....	71
9.5.1 Análisis de los Sólidos Suspendidos	71
9.5.2 Sedimentabilidad del Cono (tabla 3).	71
9.5.3 Análisis de Calidad de Lodo (Tabla 3)	72
9.5.4 Índice de Volumen de Lodos (Tabla 3)	73
9.5.5 Oxidación (Tabla 3)	73
10. Identificación de Bacterias Filamentosas.....	74
10.1 Bacterias encontradas en el reactor aerobio durante el periodo de estudio.....	74
10.2 Bacterias Filamentosas	75
10.3 Descripción de Bacterias Filamentosas Encontradas.....	75
10.4 Microorganismos Asociados a las Bacterias Filamentosas.	78
10.5 Formación de Flócos con las Bacterias Filamentosas	78
10.6 Relación de las Bacterias Filamentosas con respecto a los parámetros Físico Químicos y Biológicos dentro del Tanque de Lodos Activados	79
10.6.1 Relación de Bacterias Filamentosas con la Temperatura	79
10.6.2 Relación de Bacterias Filamentosas con el PH	80

10.6.3 Relación de Bacterias Filamentosas con La Demanda Química de Oxígeno	81
10.6.4 Relación de Bacterias Filamentosas con la Demanda Biológica de Oxígeno para 5 días	81
10.6.5 Relación de Bacterias filamentosas con Solidos Suspendidos Totales	82
10.6.6 Relación de Bacterias Filamentosas con el alimento	83
10.6.7 Relación de Bacterias Filamentosas con el Índice de Volumen de Lodos	83
10.6.8 Relación de Bacterias Filamentosas con la Oxidación.....	84
11. RESULTADOS	85
12. DISCUSION	88
13. CONCLUSIONES	91
14. RECOMENDACIONES	92
15. LITERATURA CITADA	93
16. ANEXOS	100
17. GLOSARIO	115

ÍNDICE DE TABLAS

1. Parámetros físicos-químicos y biológicos del reactor aerobio.....	53
2. Parámetros Físicoquímicos durante el periodo de estudio.....	61
3. Parámetros operativos del reactor aerobio.....	62
4. Parámetros operativos del reactor aerobio.....	65
5. Identificación de filamentosas.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

1. Temperatura de las muestras tomadas en el reactor aeróbico en estudio.....	66
2. Medición de PH en las muestras tomadas en el reactor aeróbico en estudio.....	67
3. Medición de la Demanda Química de Oxígeno en la entrada y salida del reactor aeróbico en estudio.....	67
4. Resultados obtenidos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en la entrada y salida del reactor aeróbico en estudio existiendo una remoción de la aireación en las aguas.....	68
5. Comportamiento de los sólidos Suspendidos en la oxidación del reactor aeróbico.....	69
6. Sedimentabilidad o calidad de lodo en la oxidación.....	69
7. Carga orgánica del lodo del reactor aerobio.....	70
8. Índice de volumen de lodos.....	71
9. Oxidación de la materia orgánica.....	71
10. Géneros de bacterias encontrados durante el periodo de estudio.....	73
11. Relación de bacterias filamentosas con respecto a la temperatura dentro de tanque de lodos.....	77
12. Relación de las bacterias filamentosas con respecto al PH dentro tanque de lodos.....	78
13. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la Demanda Química de Oxígeno dentro tanque de lodos activados.....	79
14. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno bajo condiciones aerobias en un periodo de cinco días, dentro del tanque de lodos activados.....	79

15. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a los sólidos totales dentro tanque de lodos activados.....	80
16. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la cantidad de alimento para las bacterias.....	81
17. Relación de las bacterias filamentosas con respecto al índice de volumen de lodos dentro tanque de lodos activados.....	81
18. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la oxidación dentro tanque de lodos activados.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales dentro de Industrias La Constancia, División Cerveza. San Salvador.....	50
2. Toma de las muestras: a) Separador laminar, b) Tanque de lodos, c) Pozo de agua tratada.....	51
3. Esquema de la depuradora de lodos activados con sus puntos de muestreo.....	52
4. Toma de PH y Temperatura: a) Muestra de la entrada del tanque de lodos.....	53
5. Medición del DQO: a) Muestra de la entrada del reactor (L), b) Muestra de la salida (O), c) Muestra en viales con reactivo para DQO, d) Termo reactor con muestras.....	54
6. Medición del DBO ₅ : c) Muestra en botes con reactivo para DQO, d) Muestras en refrigeración.....	55
7. fotómetros con muestra de la salida.....	56
8. Observación microscópica: a) Observación de la muestra sin teñir, b) identificación de filamentos.....	63
9. Preparación muestras: a) Preparación de muestra seca, b) Kit de tinción Gram.....	63
10. Tinción de Gram: a) Tinción muestra, b) muestra teñida.....	64
11. Identificación de filamentosas. a) Muestra sin teñir Tipo 021N. 100x, b) Muestra teñida <i>Tipo 021N</i>	73
12. Identificación de filamentos a) muestra sin teñir <i>Microthrix parvicella</i> , b) muestra teñida <i>Microthrix parvicella</i>	74
13. Muestra en vivo a) flóco sin teñir de la Bacteria <i>Sp1</i> , b) Bacteria <i>Sp1</i>	75
14. Muestra en vivo a) Bacteria <i>Sp1</i> , b) Bacteria <i>Sp1</i> teñida.....	75
15. Muestra en vivo a) <i>Paramecium sp</i> , b) Cianofita.....	76
16. Muestra en vivo a) Estructura flocular, b) flóco compacto.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Diagrama de proceso de lodo activados.....	96
2. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor para industrias de bebidas de malta (Conacyt,2009).....	97
3. Ecuaciones químicas de la oxidación y síntesis del reactor aeróbico (Metcalf & eddy, b, 1991).....	97
4. Esquema típico de un reactor aerobio en el proceso de lodos activados.....	98
5. Causas del crecimiento de filamentosas en los lodos activados. (Richard 2003).....	98
6. Tinción de Gram (Método Hücker modificado).....	100
7. Hoja de toma de datos en el reactor aeróbico.....	101
8. Hoja de toma de datos en el reactor aeróbico.....	102

RESUMEN

La actividad industrial y el desarrollo material y económico, han traído como consecuencia la contaminación del aire, agua y el suelo; lo que ocasiona modificaciones físicas químicas y biológicas que han producido un deterioro en la calidad del agua, dando como resultado problemas de contaminación que afectan tanto la productividad de los sistemas como la salud humana .

A las aguas de composición variada provenientes de uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario, o de cualquier otra índole, ya sea privada o pública que han sufrido una degradación o alteración en su calidad original se le conoce como agua residual.

Este trabajo tiene como objetivo “Caracterizar las bacterias filamentosas en el funcionamiento de un reactor aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de origen cervecero” para ello se estudió durante varios meses los parámetros físico-químicos y biológicos para poder así controlar de las bacterias filamentosas y así evitar en un futuro problemas de operación o poder controlar su crecimiento y por ende, ecológicos dentro del sistema de lodos activados.

La identificación se realizó tomando muestras en el reactor aerobio y realizándole la tinción de Gram para posteriormente ser vistos en un microscopio de una resolución de 100x; luego se caracterizaron las bacterias juntas con los parámetros de operación del tanque de lodos por muestra y los resultados encontrados fueron la presencia de filamentos *Microtrix Parvicella*, *Tipo 021N*, y *Sp1* (llamada así por no ser identificada, ni encontrada en la literatura), esta es una nueva especie encontrada, ya que es propia de este reactor aerobio y crecen principalmente en aguas cerveceras y por deficiencia de nutrientes en el sistema.

Este trabajo nos permitió conocer la dinámica que existe entre los parámetros físicoquímicos y los microorganismos que se encuentran en un biorreactor Aerobio. Esto nos llevó a comprender mejor el funcionamiento de estos sistemas dentro de plantas de aguas residuales de tipo industrial.

ABSTRACT

Industrial activity and the physical and economic development have resulted in contamination of air, water and soil, causing physical chemical and biological changes that have produced deterioration in water quality, resulting in pollution problems affects the productivity of the systems and human health.

A varied composition waters from municipal, industrial, commercial, agricultural, livestock, or any other use, whether private or public who have suffered a degradation or alteration in their original quality is known as residual water. This work aims to "characterize filamentous bacteria in the operation of an aerobic reactor plant wastewater treatment brewer origin" for this physicochemical and biological parameters were studied for several months to thereby control bacteria stringy and avoid future problems in operation or to control their growth and thus ecological

This work aims to "characterize filamentous bacteria in the operation of an aerobic reactor plant wastewater treatment brewer origin" for this physicochemical and biological parameters were studied for several months to thereby control bacteria stringy and avoid future problems in operation or to control their growth and thus ecological within the activated sludge system.

This work allowed us to understand the dynamics between physicochemical parameters and microorganisms found in an aerobic bioreactor. This led us to better understand the operation of these systems within plants industrial wastewater.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de lodos activados es un método de tratamiento de aguas residuales en el cual la materia orgánica constituye una fuente de energía para la producción de nuevas células en una población variada de microorganismos en un ambiente acuático aerobio (Ramalho 1996). Este ambiente es en realidad un ecosistema artificial en donde los organismos vivos, principalmente microorganismos, constituyen comunidades biológicas complejas interrelacionadas entre sí y con el medio físico que les rodea (Vilaseca 2001).

Los tratamientos de aguas residuales industriales pueden ser sometidos a tres procesos depurativos de complejidad creciente: tratamiento primario, secundario y terciario o avanzado. Este sistema de lodos es de tipo biológico y su principio se fundamenta en la biofloculación o bioadsorción y en un aspecto biológico como es el metabolismo bacteriano (Di Marzio 2004).

No todas las bacterias que se desarrollan en los lodos activados son formadoras de flóculos, ya que otros organismos, como los de tipo filamentoso pueden desarrollarse, causando problemas de operación y de calidad del agua tratada (Richard 1991).

El crecimiento de organismos filamentosos depende en gran medida, de las condiciones de operación de la planta de tratamiento, tales como: concentración de Oxígeno Disuelto bajo, deficiencia de Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), PH bajo, temperatura, carga orgánica baja, Demanda Bioquímica de Oxígeno residual soluble, composición del agua residual (en grasa y aceites), mayores tiempos de retención celular (Jenkins et al. 1993).

Los microorganismos filamentosos se identifican rutinariamente sobre la base de sus características morfológicas y reacciones de varios procedimientos de tinción, siguiendo los métodos detallados en los Manuales de Eikelboom y Van Buijsen, 1998 y el de Jenkins et al. (1993); y más recientemente, por métodos biológicos, para determinar sus relaciones filogenéticas (Bradford et al. 1998).

Con el presente trabajo se pretende realizar muestreos de un reactor aerobio de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria cervecera, para identificar las principales bacterias filamentosas en el reactor

El análisis del lodo al microscopio conjuntamente a los parámetros físico-químicos y operacionales de la planta sirve para comprobar que el rendimiento de depuración sea adecuado a la estructura de la planta, reduciendo al mínimo según la ley establecida por El Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2011), e incluso evitar, ineficiencias en el proceso de depuración de las aguas residuales así como reducir gastos en el manejo de la planta.

2. OBJETIVOS

2.1 General

- Caracterización de bacterias filamentosas en el funcionamiento de un reactor aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de origen cervecero

2.2 Específicos

- Caracterizar las bacterias filamentosas en su estructura, población y morfología del lodo biológico en un reactor aerobio de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales
- Relacionar los parámetros físico-químicos con la diversidad y dominancia de bacterias filamentosas presentes en el reactor aerobio de una planta de tratamiento.
- Determinar el grado de tratamiento necesario a las aguas residuales, de acuerdo a normas que regulan la calidad que deben tener las aguas antes del vertimiento, o de acuerdo a la capacidad de asimilación al cuerpo receptor.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1 Aguas residuales

3.1.1 Definición

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en el 2009, define el agua residual como el agua resultante de cualquier uso, proceso u operaciones de tipo agropecuaria, doméstico e industrial, sin que forme parte de los productos finales.

3.1.2 Tipos de Agua en El Salvador.

Según la Norma Salvadoreña NSO 13.49.01:09 se reconocen dos tipos de aguas residuales:

Agua residual de tipo ordinario: es la generada por actividades domésticas de los seres humanos, tales como el uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

Agua residual de tipo especial: es la generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideren de tipo ordinario. Tipos de aguas internacionales

3.1.3 Tipos de Aguas internacionales

Para la OMS hay cuatro tipos de efluentes industriales a considerar:

1. Efluentes de los procesos generales de fabricación. La mayoría de procesos aumentan la contaminación de los efluentes por el contacto que tienen con gases, líquidos o sólidos. Los efluentes pueden ser continuos o intermitentes. Algunos sólo se producen algunos meses al año (campañas en la industria agroalimentaria). Generalmente la producción es regular, produciendo flujos de contaminantes conocidos. Sin embargo para determinados sectores (química sintética, farmacéutica, etc.) es muy difícil analizar los efluentes ya que cambian constantemente.

2. Efluentes específicos. Algunos efluentes son separados de corrientes específicas del proceso tal es el caso: Baños de electro platinado, sosa cáustica gastada, licores

de amonio de plantas de carbón. Condensados de la producción de papel, líquidos madres de la industria alimentaria. Efluentes tóxicos y concentrados.

3. Efluentes procedentes de servicios generales. Son efluentes que no tienen origen o pueden provenir de dos o más tipos de vertidos que pueden ser industriales o domésticas incluso agroalimentarias, etc.

4. Efluentes intermitentes. Pueden provenir de vertidos de toda clase sin efluente en específico No deben olvidarse estos ya que son los mayores contaminantes del medioambiente.

3.1.4 Características

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Muchas de estas propiedades se relacionan entre sí, por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta a la actividad biológica así como a la cantidad de gases disueltos en el agua residual (CONACYT 2008).

3.1.4.1 Características Físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos (término que engloba la materia en suspensión), la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbidez (Metcalf and Eddy 1996).

a) Sólidos Suspendidos Totales

Mezcla de sólidos suspendidos de licor (MTSS). El contenido del tanque de aireación en un sistema de lodos activados se llama licor mezclado. Los SST, son la cantidad total de sólidos suspendidos orgánicos y minerales, incluidos los microorganismos, en el licor mezclado. Se determina mediante el filtrado de una alícuota del licor mezclado, secado el filtro a 1058°C y se determina el peso de los sólidos en la muestra (Bitton 2005).

b) Sólidos sedimentables

Se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de

lodo que se obtendrá en la decantación primaria y secundaria del agua residual (Metcalf and Eddy 1996).

c) Olor

Los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerante que el del agua residual séptica.

El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de bacterias sulfato-reductoras. Las aguas residuales industriales pueden contener compuestos olorosos en sí mismos, o compuestos con tendencia a producir olores durante los diferentes procesos de tratamiento residuales (Metcalf and Eddy 1996).

d) Temperatura

Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles (Metcalf and Eddy 1996).

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción de oxígeno en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano (Metcalf and Eddy 1996).

Hay que tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento de la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad microbiana se sitúa entre los 25 y 35°C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50°C. A temperaturas de alrededor de 15°C, las bacterias quimiotrofas productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5°C

e) Densidad

La densidad del agua residual es importante ya que el material disuelto rico en carga orgánica es el que se transforma en material suspendido con el accionar de las bacterias y microorganismos, la densidad es equivalente a “comida” como material disuelto, pero también se tiene material suspendido, además de la densidad depende la potencial formación de corrientes de densidad en los lodos de sedimentación (Cárcamo 2011).

f) Color

El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual (Metcalf and Eddy 1996).

g) Turbidez

Es un parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas residuales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La materia coloidal dispersa o absorbe luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que existe una relación entre la turbidez y la concentración de sólidos en suspensión de un agua no tratada. Sin embargo, sí están razonablemente ligados en el caso de efluentes procedentes de la decantación secundaria en el proceso de lodos activados (Metcalf and Eddy 1996).

3.1.4.2 Características Químicas

Dentro de las características químicas del agua residual pueden mencionarse: a) La materia orgánica (proteínas, carbohidratos, grasas y aceites), b) Los agentes tenso activos, c) Los compuestos orgánicos volátiles (COVs), d) Los contaminantes prioritarios y e) Los

productos químicos de uso agrícola, f) PH, g) Cloruros, h) Alcalinidad, i) Contenido de nitrógeno, j) Fósforo, k) Oxígeno disuelto, entre otros.

a) Materia orgánica

Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro.

Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), carbohidratos (25-50%) y grasas y aceites (10%) (Metcalf and Eddy 1996). Para medir el contenido orgánico se utilizan diversos métodos, siendo los más empleados los siguientes:

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅): Es el parámetro de contaminación orgánica más ampliamente usado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales (DBO a 5 días). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf and Eddy 1996).

Demanda química de oxígeno (DQO): Se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. Establecida la correlación entre ambos parámetros, pueden emplearse las medidas de DQO para el funcionamiento y control de las plantas de tratamiento (Metcalf and Eddy 1996).

c) Agentes tenso activos

Están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual. Tienden a concentrarse en la interface aire-agua.

d) Compuestos orgánicos volátiles.

Son aquellos compuestos orgánicos que tienen su punto de ebullición por debajo de los 100°C, y/o una presión de vapor mayor que 1 mm Hg a 25°C (Metcalf and Eddy 1996).

Son de gran importancia por tres razones: 1) su movilidad es mucho mayor, por lo que aumenta la posibilidad de su liberación al medio ambiente; 2) pueden conllevar riesgos para la salud pública; y 3) contribuyen al aumento de hidrocarburos reactivos (radicales libres) en la atmósfera.

e) pH

Este parámetro es de gran importancia para determinar la calidad de las aguas residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida es bastante estrecho y crítico.

El agua residual con pH extremos presentan dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de iones hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se ratifica antes de la evacuación.

f) Nitrógeno

Es un nutriente esencial para el crecimiento de protistas y plantas y para la vida en general. En las aguas se encuentra en formas diferentes: orgánico (proteínas), amoniacal e inorgánico. Trazas de otros elementos como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico (Metcalf and Eddy 1996).

g) Fósforo

También es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos. Es necesario limitar la cantidad de compuestos de fósforo porque provocan proliferaciones nocivas incontroladas de algas.

h) Oxígeno disuelto

Es necesario para la respiración de los organismos aerobios. La cantidad de oxígeno que puede estar presente en solución está condicionada por los siguientes aspectos: 1) solubilidad del gas; 2) presión parcial del gas en la atmósfera; 3) temperatura; 4) pureza del agua.

La velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas

residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

3.1.4.3 Características Biológicas

Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales son las bacterias filamentosas, los hongos, las algas, los protozoos, virus y otras plantas y animales multicelulares (Metcalf and Eddy 1996).

4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales urbanas son originariamente orgánicas en composición y de la misma manera un número significativo de las aguas residuales industriales posee una alta carga orgánica, esto significa que los principales procesos de tratamiento están dirigidos a la eliminación de la composición orgánica.

En una planta de tratamiento de este tipo de aguas poseen una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, y estos se separan así:

- Pre tratamiento: físico y/o químico
- Tratamiento primario: físico
- Tratamiento secundario: biológico
- Tratamiento avanzado: físico, químico y biológico (Reynolds 2002).

En la industria cervecera en estudio; los procesos que se llevan a cabo en el tratamiento de aguas residuales son los siguientes

4.1 Estación de Bombeo

Descripción: según Von Nordeskjold las aguas residuales de las diferentes áreas productivas convergen en este punto. Por medio de dos bombas sumergibles el agua es llevada a la planta a un flujo que oscila entre 100-145 m³/h.

Las bombas sumergibles son controladas por electro niveles para su arranque y paro automático para comprender este proceso (Anexo 1).

- Medidor de Flujo y Volumen

La cantidad de agua que ingresa a la Planta de tratamiento se registra por medio del medidor de flujo y volumen, localizado en la tubería de salida de la estación de bombeo, contiguo a las salas de capacitación (ex-garaje)

Los parámetros de entrada de las aguas residuales en este proceso tienen: Capacidad de tratamiento, 1040 m³/día con DQO 2675 mg/l, DBO5 1600 mg/l, Sólidos suspendidos ≤ 2000 mg/l, Temperatura ≤ 35 °c, PH 5 -10.

4.2 Separadora de Sólidos

Es un proceso físico / mecánico para separación de sólidos >1 milímetro de diámetro. Dichos sólidos son recolectados en un depósito para su disposición final en el relleno sanitario.

Los sólidos comúnmente recolectados son: Granza, Vidrio, Viñetas, Corcho latas o coronas

4.3 Tanque Homogenizador (Buffer Basin BB)

Luego que el agua ha pasado por las etapas descritas, es enviada al tanque de homogenización con una capacidad de 1,200 m³.

Tanque BB: tanque donde se ecualizan las condiciones de pH del agua que entra al sistema (ya que debe estar en las siguientes etapas del sistema entre 6.8-7.5) se adiciona ácido o base según el caso con el valor del pH del sistema

El propósito es equilibrar los picos de carga, pH y temperatura para lograr una mezcla homogénea del agua residual (Von Nordeskjold 2009).

El tanque de homogenización sirve como depósito que regula el caudal, a fin de poder alimentar un flujo constante al proceso anaerobio (45 -100 m³/h.).

- El pH debe ser regulado a valores entre 6.8 y 7.4, lo cual se logra por medio de dosificación de soda cáustica y ácido clorhídrico. Dicha dosificación se lleva a cabo de manera automática, utilizando para ello un medidor de pH.
- La temperatura en el tanque de homogenización no debe exceder de los 40°C.

- La temperatura y el pH son condiciones indispensables para el óptimo funcionamiento metabólico de las bacterias anaeróbicas (Von Nordeskjold 2009).

4.4 Tanque de Acidificación (ACB)

Luego del tanque de homogenización, el agua es alimentada al tanque de ACB con una capacidad de 550 m³, por medio de una bomba controlada por los niveles del tanque de homogenización, El objetivo del tanque de acidificación como su nombre lo indica es que en esta etapa el agua deberá formar cadenas de ácidos orgánicos los cuales son el alimento para las bacterias anaeróbicas.

Este tanque también está cubierto para reducir la emisión de malos olores.

Para reducir la emisión de malos olores (producidos por generación de Sulfuro de Hidrógeno) el recipiente está cubierto.

Ante una elevación de presión el gas será sustraído por un compresor y enviado al reactor aeróbico. El sulfuro de hidrógeno se neutraliza al entrar en contacto con agua, convirtiéndose en ácido sulfhídrico de baja concentración.²¹

4.5 Tratamiento Biológico Anaeróbico

El proceso se basa en la reducción de los componentes de la materia orgánica (DQO y DBO5) a biogás (metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno y vapor de agua).

El reactor anaeróbico con una capacidad de 750 m³, es la etapa más importante del sistema de tratamiento y está dividido en dos secciones:

4.5.1 Alta Carga

Del recipiente de acidificación el agua es bombeada por medio de tubería de distribución y válvulas automáticas que distribuyen el flujo de agua en el tanque de alta carga para tener una mezcla completa con la biomasa de tipo granular en este. Una pared separadora diseñada especialmente con zonas colectoras de lodo mantendrá la biomasa granular en esta primera sección.

²¹Cárcamo, R.2011, comunicación personal. Wastewater Treatment Plant, Industrias La Constancia Beer División. Responsable de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

4.5.2 Baja Carga

El agua pasa por rebalse al tanque de baja donde el agua se mezcla con lodo fino capaz de continuar con menor intensidad la reducción de los componentes de la materia orgánica.

El tanque de alta y baja carga están cubiertos por un domo para recoger y almacenar el biogás (se estima la generación de 1000m³ de biogás por día) que por medio de compresores será enviado a calderas y ser quemado para ahorro de combustible, en caso de emergencia el biogás se puede quemar en una antorcha de gas incluida con la planta.

El ahorro en el uso del Biogás equivale a un 8% de energía térmica utilizada para generación de vapor (Von Nordeskjold, 2009).

Luego de atravesar el separador laminar el agua fluye a un canal, donde parte de esta se recirculará al tanque de acidificación para equalización natural del pH y el resto saldrá como efluente anaeróbico que alimentará al sistema aeróbico para tratamiento final.

La eficiencia de remoción orgánica lograda en esta etapa es del 70% - 80 %, valores de salida deseables del sistema anaeróbico

- DQO 760mg/l
- DBO5 200 mg/l
- pH 6-8
- Temperatura $\leq 36^{\circ}\text{C}$

4.6 Tratamiento Biológico Aeróbico

4.6.1 Tanque de Lodos Activados

Después de la etapa anaeróbica, el agua residual con materia orgánica remanente, ingresa por gravedad al tanque de lodos activados, mejor conocida como Reactor Aeróbico con una capacidad en volumen de 1620 m³. En esta etapa el agua aun contiene una parte remanente de materia orgánica, compuesta principalmente por compuestos orgánicos de cadena larga y de difícil biodegradabilidad anaerobia, son metabolizados y transformados en productos completamente oxidados (dióxido de carbono, nitratos, orto fosfato, sulfatos); una parte mínima del sustrato es utilizada por los microorganismos para síntesis celular o reproducción de microorganismos (Von Nordeskjold, 2009).

Para mantener la fase aerobia se provee la difusión de aire (oxígeno) con equipos soportes y un sistema integrado de cadenas de aireación con difusores de micro burbuja. Con este sistema se logra satisfacer la cantidad de oxígeno requerida en la degradación y oxidación de las sustancias contaminantes.

4.6.2 Clarificador

Los lodos biológicos de Tanque de lodos activados, pasan a una etapa posterior de separación-clarificación, a través de un clarificador, donde los flóculos se asientan o sedimentan por gravedad hacia el fondo (zona de compactación).

La descarga de lodo se hace a través de una unidad flotante de succión con una bomba de succión fija, donde se retorna la población biológica a la parte inicial del tanque. Al retornar los lodos biológicos al sistema, se mantiene el equilibrio dinámico entre la población de microorganismos que son requeridos, para degradar la cantidad de materia orgánica.

4.6.3 Pulición

Una vez separados los flóculos de lodo del agua residual tratada, esta última alcanza la superficie del clarificador y se conduce a través de una ventanilla, hacia el tanque de pulición que se usa para aumentar el contenido de oxígeno ya que normalmente en el tanque de lodos activados se registran tasas bajas de oxígeno durante la operación. Por otro lado, en esta etapa es posible la reducción adicional de los componentes mal degradados (Von Nordeskjold 2009).

4.6.4 Biofiltro

A la salida del tanque de pulición se pasa por un biofiltro (filtro de gravilla con plantas acuáticas), donde las partículas más pequeñas son eliminadas y existe una última depuración de exceso de fósforo y nitrógeno. Posteriormente las aguas son recolectadas en un pozo de salida donde se descarga al drenaje conectado al cuerpo colector (Von Nordeskjold, 2009).

Según Metcalf and Eddy 1996 los Valores de Salida de un tanque de lodo activado son:

- $DQO \leq 100 \text{ mg/l}$

- $\text{DBO5} \leq 40 \text{ mg/l}$
- Sólidos Suspendedos $\leq 90 \text{ mg/l}$
- $\text{pH } 6 - 8$
- $T \leq 35 \text{ }^\circ\text{C}$

Valores de Salida exigidos por Norma salvadoreña NSO 13.49.01:06

Bebidas Malteadas y de Malta

- $\text{DQO } 800 \text{ mg/l}$
- $\text{DBO5 } 260 \text{ mg/l}$
- Sólidos Sedimentables 30 ml/l
- Sólidos Suspendedos 100 mg/l
- Grasas y Aceites 30 mg/l

5. TRATAMIENTO DE LODOS

El exceso de lodos es recolectado en el tanque de Biomasa los cuales serán extraídos por medio de dos bombas de tornillo, para hacerlas pasar por medio de un mezclador estático al cual le inyectaremos polímero para la formación de flóculos, para luego llevarlos a al filtro prensa o deshidratación de lodo (paso final donde se acumula el lodo y se prensa).

La cantidad estimada de lodos a prensar será de $40 \text{ m}^3/\text{semana}$ los cuales prensados se convertirán a $8.0 \text{ m}^3/\text{semana}$ (Von Nordeskjold 2009).

5.1 Desinfección

Consiste normalmente en la inyección de una disolución de cloro al inicio del canal de cloración. La dosis de cloro depende entre otros factores del contenido microbiano y suele oscilar entre $5\text{-}10 \text{ mg/ L}$. También puede utilizarse como desinfectante el ozono o la luz ultravioleta.

Aunque la cloración de las aguas residuales es un tratamiento recomendado para su desinfección, en los últimos años se están estudiando otras alternativas debido a que en la cloración se forman algunos productos como los trihalometanos que se supone son cancerígenos, así como otros compuestos organoclorados tóxicos. Entre estas alternativas

se encuentran la desinfección por rayos ultravioleta, el tratamiento con ozono, el dióxido de cloro y la solarización desinfección por la luz solar.

Otro aspecto a considerar es el efecto que el cloro residual (sirve es para ver cuánto cloro libre tiene un sistema después de la dosificación del producto) La evidencia disponible indica que las concentraciones de cloro residual recomendadas para la cloración (0,5-1,0 mg/l) no suponen un peligro para los cultivos, teniendo además en cuenta que desde el circuito de cloración hasta el punto de utilización de estas aguas para riego la concentración de cloro residual puede disminuir considerablemente (Metcalf & Eddy 1991).

5.2 Tratamientos Biológicos

Estos tratamientos biológicos para las aguas residuales se utilizan para bajar la carga orgánica de compuestos orgánicos solubles. Existen dos categorías: Tratamiento aerobio Y Tratamiento anaerobio

En sistemas aerobios el agua se airea con aire comprimido (en algunos casos oxígeno). Los sistemas anaerobios funcionan bajo condiciones libres, es decir en ausencia de oxígeno.

Actualmente, los tratamientos biológicos han cobrado un gran interés en los procesos de depuración de aguas residuales. Su utilización se fundamenta en el aprovechamiento de la capacidad de microorganismos para degradar, acumular, adsorber, precipitar o volatilizar una gran variedad de contaminantes presentes en las aguas.; aunque existen otros tratamientos como el ozono que es el más costoso y su durabilidad en el agua es corto no sirve como barrera de protección que es lo que lo diferencia del cloro este cumpla la función de destruir las bacterias, los virus y los olores.

Otro de los tratamientos es con luz ultra violeta, este es un proceso demostrado para la desinfección del agua, aire y superficies sólidas contaminadas microbiológicamente. El último y más usado es la cloración, en este se usa el cloro para la desinfección, este es el método que más se utiliza no solo para las aguas residuales sino también para la potabilización, este método tiene muchas ventajas (Metcalf & Eddy 1991).

5.3 Composición Típica de las Aguas Residuales Industriales de Origen Cervecerero

En las aguas residuales industriales se encuentran compuestos orgánicos e inorgánicos. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen con frecuencia sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, bien por estar en concentraciones elevadas, o bien por su naturaleza química. Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo (Fernández-Alba s.a.)

Los contaminantes contenidos en los efluentes generados en las cervecerías son principalmente sustancias orgánicas originadas durante las actividades del proceso. Los procesos de fabricación de la cerveza también generan líquidos tales como el mosto final y la cerveza residual que, en lugar de pasar a formar parte de la corriente de efluentes, pueden reutilizarse. Las principales fuentes de cerveza residual son los tanques de proceso, los filtros de tierras diatomeas, las tuberías, y la cerveza descartada y las botellas rotas en la zona de envasado. La pérdida total de cerveza suele oscilar entre el 1 y el 5 por ciento de la producción

Las técnicas empleadas para tratar las aguas residuales de proceso en el sector incluyen la homogenización; la corrección del pH; la sedimentación de sólidos en suspensión mediante el uso de clarificadores; y el tratamiento biológico (The Brewers of Europea 2002).

En ocasiones es necesario recurrir a la remoción de los nutrientes biológicos para reducir el nitrógeno y el fósforo y a la desinfección mediante la cloración, la deshidratación y la eliminación de los residuos; en algunos casos, es posible realizar la compostación o aplicación en la tierra de los residuos derivados del tratamiento de aguas residuales que presenten una calidad aceptable

Las fábricas cerveceras de todo el mundo optan cada vez más por el tratamiento biológico anaerobio seguido de la aireación. Las ventajas de esta técnica son su insuficiente pista, los sustanciosos ahorros en electricidad y la generación de biogás que puede emplearse para alimentar las calderas o para generar electricidad (The Brewers of Europea 2002).

En El Salvador el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología en 2009 regulo el vertido de aguas residuales de origen cervecero y los valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor para industrias de bebidas de malta (Anexo 2).

5.4 Proceso de Lodos Activados

El proceso de lodos activados es un método de tratamiento de aguas residuales en el cual la materia orgánica constituye una fuente de energía para la producción de nuevas células para una población variada de microorganismos en un ambiente acuático aerobio (Ramalho 1996).

Es en realidad un ecosistema artificial en donde los organismos vivos, principalmente microorganismos, constituyen comunidades biológicas complejas interrelacionadas entre sí y con el medio físico que les rodea (Vilaseca 2001).

Para Metcalf and Eddy, el residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce como “mezcla aireada” En este cultivo bacteriano lleva a cabo la conversión en concordancia con la siguiente explicación: Sí existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta que el desecho se haya consumidos en esta descomposición se dan tres actividades : Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales; acá se forma dióxido de carbono que pasa a ser ácido carbónico que pasa a ser carbonatos, se da la formación de fosfatos, nitratos, nitritos, etc. Y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de nuevo material celular. Simultáneamente, otra fracción del desecho se convierte en tejido celular nuevo empleando la energía liberada durante la oxidación. En esta parte el material disuelto pasa a ser material suspendido (biomasa) Finalmente cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular: este tercer proceso es llamado respiración endógena, aquí parte de ese material queda en el reactor para seguir depurando carga orgánica y el exceso se extrae porque si

no hay más biomasa que alimento (Anexo 3).

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada.

Una parte de las células sedimentadas se recirculan para mantener en el reactor la concentración de células deseadas, mientras que la otra se purga en el sistema (figura 1). El nivel al que se debe mantener la masa biológica depende de la eficacia deseada en el tratamiento y de otras consideraciones relacionadas con la cinética del crecimiento (Metcalf and Eddy 1996).

El reactor aerobio dentro del estudio tiene una capacidad de 1620 m³ y tiene un tiempo de retención de 32 horas. Mide 23 metros de largo por 20 metros de ancho. Tiene una profundidad de 5 metros (Anexo 4). Constantemente se airea a presión con lo cual se garantiza una mezcla homogénea de las comunidades microbianas. En este proceso, bacterias floculantes sedimentan los lodos separando las fases. Otras bacterias, protozoos y metazoos degradan la materia orgánica produciendo una disminución de la DBO²²

Los lodos pasan seguidamente hacia el clarificador o sedimentador secundario donde pasan por un tiempo de 20 horas más. De este proceso se recirculan los lodos restantes para aumentar la depuración.

Las aguas ya clarificadas pasan por un biofiltro antes de ser retenidas en un pozo, donde una parte es clorada y utilizada para limpieza, regar jardines y zonas verdes, mientras que el resto es evacuado hacia la quebrada San Antonio (Cárcamo 2010).

Uno de los factores primordiales para el funcionamiento del proceso de los lodos activados es la floculación efectiva del lodo, conllevando a una sedimentación rápida y

²² Cárcamo, R.2011, Comunicación personal. Wastewater Treatment Plant, Industrias La Constancia Beer División. Responsable de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

compactación, que permite a los sólidos suspendidos volátiles del líquido mezcla (SSVLM) del efluente del reactor, separarse rápidamente en el sedimentador secundario (Eckenfelder 2000; Ramalho 1996).

Algunos de los factores que intervienen en la formación del flóculos y su sedimentación son: la edad de los lodos, la toxicidad, descarga de lodos, actividad abundante de protozoos ciliados, excesivo esfuerzo cortante, demasiada cantidad de agentes surfactantes o tenso activos (Pacheco et al. 2003).

Se ha demostrado que la floculación resulta de la producción de una capa de polisacárido pegajoso, que provoca que los organismos se adhieran. Otros factores como la superficie química y la densidad del floculo pueden influenciar fuertemente las propiedades de su sedimentación (Eikelboom et al 1998).

Otras situaciones como la geometría del sistema y la forma en que el agua residual se aporta al reactor, condicionan las características de floculación del lodo. No todas las bacterias que se desarrollan en lodos activados son formadoras de flóculos, ya que otros organismos, como los filamentosos, pueden crecer causando problemas de operación y calidad de agua tratada (Ramalho 1996; Richard 1991).

5.5 Microbiología de los Lodos Activados

La observación microscópica de lodos es un buen indicador para conocer el estado y el funcionamiento de las plantas de depuración por lodos activados. Los microorganismos de las aguas y los suelos son los mismos que actúan en las depuradoras biológicas (Vilaseca 2001)

Los microorganismos que intervienen en la depuración son aquellos que ejercen una cierta acción sobre los contaminantes del agua residual a tratar, dependiendo de varios factores que favorecerán unas u otras especies.

Entre estos factores, cabe destacar: la composición del agua residual, las características de la planta y su dimensionamiento, las características climáticas, la estacionalidad de los

vertidos y volúmenes. De todo ello dependerá el que existan unos u otros tipos de microorganismos (Vilaseca 2001)

Las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. Las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica con el fin de obtener energía para la síntesis de nuevas células (Metcalf and Eddy 1996).

También pueden encontrarse hongos, rotíferos y protozoos. Estos últimos están representados en gran parte por especies de ciliados, flagelados y protozoos, pero también pueden estar presentes amebas. Los protozoos sirven como indicadores de la condición de los lodos activados. Consumen las bacterias dispersas que no han flocculado, mientras que los rotíferos consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado (Metcalf and Eddy 1996).

El éxito del proceso de lodos activados depende de la estabilidad de la comunidad de los microorganismos que remueven y consumen los desechos orgánicos, que se agregan y adhieren. Cualquier problema en la separación de sólidos en los lodos activados indica un desequilibrio en los componentes biológicos de este proceso (Metcalf and Eddy 1996).

La observación microscópica de un lodo activado aparece como una masa gelatinosa compuesta de numerosas bacterias reunidas en grupos y dimensiones variables, entre 50 a 1000 μm , denominada flóculos. La estructura del flóculo puede presentar, por otro lado, modificaciones que alteran su Sedimentabilidad y conducir, por lo tanto, a la aparición de problemas en la fase de separación de la parte líquida y sólida en el sedimentador secundario (Alberdi et al. s.a.)

El tratamiento biológico de los efluentes domésticos e industriales consiste en la acción combinada de las poblaciones de bacterias que utilizan las sustancias presentes en esos efluentes para cubrir sus necesidades metabólicas. De esta manera dan origen a nuevos microorganismos o biomasa que constituye el fango o lodo producido por el sistema; y productos del catabolismo, principalmente H_2O , CO_2 , NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$ o CH_4 , en función de si la biodegradación ocurre en presencia o no de oxígeno (Alberdi et al. s.a.)

La acción de biodegradación está realizada principalmente por las bacterias, las cuales en base a su naturaleza procariota presentan una gran versatilidad en la utilización de una amplia gama de sustratos y reducidos tiempos de duplicación poblacional (Alberdi et al. s.a.)

Algunas bacterias son aerobias estrictas, mientras que otras son anaeróbicas. El tipo predominante en los lodos activados es del tipo facultativo. Mientras que las bacterias heterotróficas y autotróficas que residen en los lodos activados, dominan los primeros.

Las heterotróficas obtienen energía de la materia orgánica presente en las aguas residuales para la síntesis de nuevas células. Al mismo tiempo, liberan energía a través de la conversión de la materia orgánica en compuestos como el dióxido de carbono y agua. Entre los géneros más importantes están: *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, y *Zoogloea* (Jenkins et al. 1993).

Las bacterias autotróficas reducen los compuestos carbónicos, como el dióxido de carbono, para producir nuevas células. Estas bacterias obtienen su energía mediante la oxidación del nitrógeno amoniacal a nitrógeno nítrico en un proceso de conversión de dos etapas conocido como nitrificación. Debido al hecho de que muy poca energía se deriva de estas reacciones de oxidación, y porque se necesita energía para convertir el dióxido de carbono a carbono celular, las bacterias nitrificantes representan un pequeño porcentaje de la población total de los microorganismos en los fangos activados (Jenkins et al. 1993).

Además, las bacterias nitrificantes autótrofas tienen una menor tasa de reproducción que las heterótrofas. Dos géneros de bacterias son responsables de la conversión del amoníaco a nitrato en el lodo activado, *Nitrobacter* y *Nitrosomonas* (Water Environment Society 1987).

Algunas bacterias de los lodos activados han sido diseñadas específicamente para promover un crecimiento más rápido de bacterias que remueven el carbón del afluente del agua residual, y añaden químicos que pueden suprimir la nitrificación (Water Environment Society 1987).

Dentro de los organismos filamentosos, los más comúnmente encontrados son: *Beggiatoa*, *Nocardia s.*, *Microthrix parvicella*, *Nostocoida limicola I, II y III*, *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix I y II*, *Tipo 0121N*, *Tipo 0041*, *Tipo 1863* y *Tipo 0211* (Jenkins 1993; Richard 1991).

5.6 Abultamiento del Lodo en el Proceso de Lodos Activados

El esponjamiento o “bulking” es una condición que en ocasiones se presenta, en la que el lodo es ligero o inflado, y por consecuencia, difícil de sedimentar. Este tipo de lodo pasa por encima de los vertederos de separación y se escapa con el efluente en el clarificador secundario, que provoca que la concentración del sustrato sea insuficiente para mantener el crecimiento de los microorganismos que constituyen al lodo y se ven obligados a funcionar en régimen de respiración endógena y el efluente tendría una demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) relativamente elevada, situación que no es deseable en una planta de tratamiento (Pacheco et al. 2003; Ramalho 1996).

Durante el proceso de respiración endógena se metaboliza un material citoplásmico rico en proteínas y ARN, el residuo está constituido por cápsulas celulares muy ligeras que se resisten a la sedimentación. Esta es la razón por la cual, las relaciones bajas de F/M (alimento/microorganismo) hacen que el lodo tenga características muy pobres de decantación (flóculos dispersos); mientras que cuando las relaciones de F/M son elevadas (entre 0.6 y 1.0 kg DBO/ kg SSTLM/d) predominan los microorganismos filamentosos, que provocan la inflación del lodo e impide la sedimentación al permanecer casi continuamente en suspensión (Ramalho 1996).

Los microorganismos filamentosos no se desarrollan ni crecen en lodos jóvenes. Cuando la edad del lodo se incrementa, los microorganismos filamentosos cortos empiezan a desarrollarse dentro de las partículas del flóculo. Las bacterias formadoras de flóculo, floculan con los microorganismos filamentosos de diferentes longitudes

Estos últimos proporcionan resistencia a la acción cortante del medio y permite el incremento significativo en el número de bacterias formadoras de flóculos, afectando la

sedimentación. Las partículas floculadas incrementan su tamaño y cambian de forma esférica a irregular (Eikelboom et al. 1998; Ramalho 1996).

El crecimiento de los microorganismos filamentosos depende en gran medida de las condiciones de operación de la planta de tratamiento:

- Concentración de oxígeno disuelto baja
- Relación F/M baja
- Deficiencia de nutrientes (nitrógeno y fósforo)
- pH bajo
- Temperatura
- Carga orgánica baja
- DBO residual soluble
- Composición del agua residual (concentraciones altas en grasas y aceites)
- Mayores tiempos de retención celular

Para controlar el problema de desarrollo de microorganismos filamentosos se utiliza cloro en las plantas de tratamiento, sin embargo es un método costoso que además elimina los microorganismos formadores de flóculo al igual que los filamentosos (Metcalf and Eddy, A, 1991).

Según Richard (2003), una cierta cantidad de bacterias filamentosas pueden ser beneficiosas para el proceso de lodos activados. La falta de bacterias filamentosas puede llevar a flóculos pequeños, fácilmente cortados que se depositan bien, pero dejan atrás un efluente turbio. Los filamentos sirven como una columna vertebral de la estructura del fóculo, permitiendo la formación de flóculos más grandes y más fuertes.

Para obtener un lodo inicial se debe tener la presencia de algunas bacterias filamentosas que sirven para capturar y retener partículas durante la sedimentación de los lodos, que producen una menor turbidez del efluente. Y es cuando las filamentosas crecen en grandes cantidades (aproximadamente 10^7 um filamentos por gramo de lodo), para comenzar el proceso de depuración realizado por las bacterias filamentosas u otros organismos (Richard 2003).

De acuerdo con Richard (2003) existen seis condiciones ambientales que causan el crecimiento excesivo de filamentosas en los lodos activados, Cuatro de ellas ocurren en sistemas de aguas residuales domiciliarias mientras que seis ocurren en sistemas de aguas residuales industriales, siendo dos específicas solamente en estos últimos (bajos nutrientes y bajo pH).

Según Richard en el año 2003, dijo que las filamentosas han sido asociadas con otras causas en el pasado, pero recientemente han sido indicados las causas descritas como las razones primarias para su crecimiento (Anexo 5)

Haliscomenobacter hydrossis, fue incluida previamente como un filamento de baja relación F/M. Este filamento es causado por una baja concentración de oxígeno disuelto, pero crece relativamente lento y solamente ocurre en relaciones F/M inferiores y lodos más viejos. La baja relación F/M no es la causa, solamente donde esto ocurre. (Richard 2003).

5.7 Composición de Lodos Activados.

Entendemos por fango activo una suspensión acuosa de microorganismos capaz de llevar a cabo el proceso de depuración de diversas materias no sedimentables de las aguas residuales.

Esta suspensión acuosa de microorganismos está compuesta por toda una comunidad de especies formando un ecosistema en equilibrio, siendo solo algunas de ellas las responsables del proceso de depuración. Los fangos activos están formados por Bacterias, Protozoos, Metazoos y Hongos, estableciendo una comunidad heterogénea en la que se podría considerar que la celda unidad es el flóculo (Bitton 2005).

Bacterias:

Las bacterias son el componente biótico mayoritario de los fangos activos, llegando a suponer el 90-95% de la biomasa.

Podemos clasificar las bacterias de los fangos activos en tres grandes grupos según su comportamiento (Bitton 2005).

- Bacterias Formadoras de Flóculo.
- Bacterias Filamentosas
- Bacterias Dispersas

Protozoos:

Son organismos eucariotas unicelulares que habitan los fangos activos. Aunque su función clarificadora no es fundamental, son componentes imprescindibles del ecosistema, siéndonos útiles como indicadores bióticos del proceso de depuración.

Metazoos:

Son las especies más altas de la pirámide de la cadena trófica. Se trata de organismos pluricelulares generalmente poco abundantes. Principalmente están compuestos por los Rotíferos, y Nematodos.

Hongos:

Otros componentes de los fangos activos son los hongos, suelen aparecer en los fangos con condiciones de pH bajos, llegando a producir los mismos efectos sobre la depuración de las aguas que las bacterias filamentosas (Bitton 2005).

Otros componentes.

En los fangos activos de las depuradoras pueden aparecer otros componentes microscópicos no bióticos, los cuales podemos clasificarlos como Fibras Orgánicas o Partículas Inorgánicas. Estos componentes, no interfiriendo directamente en los procesos de depuración, pueden indicarnos variaciones en los parámetros de las aguas influentes.

6. LAS BACTERIAS DE LODOS ACTIVADOS.

6.1 Introducción General a las Bacterias

6.1.1 Descripción.

El mundo microbiano está formado en su gran mayoría por microorganismos unicelulares, denominados protistas. Los protistas engloban a las algas, hongos, protozoos y bacterias.

Los microorganismos se pueden clasificar en dos grandes grupos, dependiendo de la organización de su material nuclear: los Eucariotas y los Procariotas. La principal diferencia a estos dos grandes grupos es la presencia de una membrana interna en los eucariotas que aísla el material genético (ADN) del resto de los componentes del citoplasma. Esta membrana recibe el nombre de Membrana Nuclear (Bitton 2005).

Las células de protistas y tejidos multicelulares de animales, vegetales y hongos son consideradas como eucariotas. Pero las bacterias se consideran procariotas, es decir, su material genético se encuentra libre en el citoplasma. Las bacterias se encuentran formando parte de todos los ecosistemas, siendo capaces de adaptarse tanto a aguas casi congeladas como a aguas termales con temperaturas cercanas al punto de ebullición. Debido a esta capacidad de adaptación a su medio, existe una gran diversidad en cuanto a morfología celular y capacidad metabólica,

Los procariotas poseen una pared celular que contiene una clase de molécula compleja, un mucopéptido, esto le confiere un grado de distinción frente a los eucariotas, que no lo poseen (Bitton 2005).

6.1.2 Características Físicas y Morfológicas.

Las células procariotas son muy pequeñas, entre 1 a 3 μm de longitud y 0,5 a 1,5 μm de diámetro. Poseen una estructura exterior sencilla, con forma generalmente elipsoidal, esférica, alargada o en espiral.

Su morfología es uno de los factores primordiales para la clasificación e identificación de las bacterias. Las células bacterianas de forma esférica, o ligeramente alargada, se denominan cocos, las de forma alargada se denominan bacilos. Algunas células pueden

aparecer en forma de espiral, son los denominados espirilos, o bien vibrios si la espiral no es completa (Bitton 2005).

El material de la célula procariota se encuentra rodeado por una membrana citoplasmática que controla el paso de materiales hacia dentro y fuera de la célula. Externa a la membrana, y rodeándola, se encuentra la pared celular. Algunas bacterias contienen una membrana adicional rodeando a la pared celular, es la membrana externa. Aún puede existir una cubierta mucilaginosa exterior denominada cápsula. Existen también unos apéndices externos, que se originan en el citoplasma y se prolongan hacia el exterior, son los pilis y las fimbrias. Además de estas prolongaciones exteriores, también poseen unas estructuras filamentosas que mediante su agitación les facilita el movimiento, son los flagelos (Bitton 2005).

En el interior de la bacteria, al igual que en los eucariotas podemos observar los ribosomas, encargados de las síntesis de proteínas. Son de tamaño inferior a los de los organismos eucariotas. También pueden encontrarse depósitos de sustancias de reserva almacenados en gránulos o vesículas, los cuales también serán en algunos casos aspectos claves para su identificación. El material genético de las bacterias se encuentra en el citoplasma y es de forma circular, a veces se encuentra acompañado de otras moléculas de material genético más pequeñas denominadas plásmidos, ambos tipos de materiales se pueden encontrar asociados a unos pliegues interiores de la membrana citoplasmática denominados mesosomas. Por último, en algunas bacterias se pueden encontrar en el interior unas estructuras de resistencia denominadas esporas (Bitton 2005).

6.1.3 Reproducción.

Las bacterias poseen un periodo de reproducción relativamente corto. La reproducción puede ser tanto de tipo sexual como asexual, siendo ésta última la más común: La fisión binaria, a través de este proceso, una célula madre se origina dos células hijas exactamente iguales genéticamente a través de la formación de una pared celular transversal. Este proceso requiere previamente un alargamiento de la célula, seguido de un invaginamiento de la pared celular y distribución del material genético en los dos

extremos, posteriormente ocurre una formación completa de la pared transversal y separación de las dos células hijas (Grupo Sevilla 2005).

El intercambio genético asexual de las bacterias se produce a través de unos pili sexuales que a través de los cuales las bacterias pueden compartir su material genético en forma de plásmidos. A este hecho se debe la gran capacidad de mutación de las bacterias, siendo su mejor arma de adaptación al medio.

6.1.4 Agrupaciones Bacterianas.

Una vez concluido el proceso de reproducción asexual, algunas bacterias pueden quedar íntimamente ligadas, formando diferentes estructuras lineales, planas o tridimensionales. (Anexo 6). Las bacterias filamentosas no son más que el producto de este característico modo de reproducción. La formación de flóculos no debe considerarse estrictamente como un proceso asexual de reproducción, ya que en este aparecen muy diferentes grupos bacterianos (Grupo Sevilla 2005).

6.2 Bacterias Componentes de los Fangos activos

6.2.1 Bacterias Formadoras de Flóculo

Como su propio nombre indica, se trata de aquellas bacterias que se aglomeran en cúmulos tridimensionales formando estructuras nebulosas denominadas flóculos. Los flóculos mantienen su estado de agregación gracias a sustancias mucilaginosas compuestas principalmente por péptidos y polisacáridos. Son estas bacterias las principales responsables del proceso de depuración.

6.2.2 Bacterias Dispersas.

Son aquellas bacterias presentes en los fangos activos que no se encuentran formando parte de los flóculos, es decir, que permanecen libres en el líquido intersticial. En su mayoría presentan motilidad debido a la presencia en su membrana celular de flagelos, aunque también se pueden encontrar bacterias dispersas libres sin motilidad (Grupo Sevilla 2005).

La presencia de grandes concentraciones de bacterias dispersas en el líquido intersticial causa problemas en los parámetros de salida de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR), al producir el aumento de los niveles de Sólidos en suspensión, DQO y DBO5.

6.2.3 Bacterias Filamentosas.

Son aquellas bacterias que en su reproducción generan cadenas largas y difícilmente fragmentables. Pueden aparecer formando parte de los flóculos, en la interfase, formando puentes interfloculares o libres (Anexo 6)

Su proliferación genera diversos problemas en la explotación de las EDAR como el Esponjamiento de los fangos en los Clarificadores o la formación de espumas y natas en reactores biológicos y clarificadores. Otros filamentos también pueden generar problemas de turbidez en el efluente por su proliferación en el líquido intersticial.

Aunque no sería lógico tachar a las bacterias filamentosas como las grandes enemigas de los reactores biológicos. En su justa medida favorecen la depuración y sirven como estructura o "columna vertebral" de los flóculos de fango activos (Grupo Sevilla 2005).

Según Eikelboom y Van Buijsen 1998, proponen las características morfológicas del floculo de Lodo activo que se deben tomar en cuenta a la hora de identificarlos y estas son:

- **Forma:** Todos los flóculos que presentan forma más o menos esférica se caracterizan como "redondo". Si su morfología difiere mucho de la globular se denominan "irregulares", recomendándose, en este caso, matizar de alguna manera la figura a la que se asemejan (Estrellados, en cabellera, etc.).
- **Tamaño:** El tamaño de un flóculo siempre se refiere a su diámetro mayor, que se determinará midiendo la distancia entre los dos extremos más alejados del flóculo, sin considerar los microorganismos filamentosos que pueden sobresalir del mismo.
- **Estructura:** Se considera un flóculo abierto o difuso cuando ciertas partes de éste se encuentran separadas entre sí, mientras que en los flóculos compactos, existen muy pocos o ningún espacio abierto.

- **Consistencia o Textura:** Da idea del grado de cohesión de la micro estructura flocular. En un flóculo de consistencia débil, la cohesión entre las células bacterianas es pequeña, por lo que carece de un centro o núcleo firme.
- **Crecimiento disperso:** Se considera la existencia de crecimiento disperso cuando la línea de división entre el líquido intersticial y el flóculo (contorno o perímetro flocular) no es clara, debido a la presencia de células bacterianas, cuya localización no permite discernir si se encuentran libres o forman parte del flóculo.
- **Diversidad bacteriana:** Se puede definir como los distintos grupos de microorganismos que forman parte del flóculo. A 400X - 1.000X, y observando las diferencias de formas y tamaños de las bacterias que forman el flóculo, principalmente en sus contornos, se puede obtener una idea bastante aproximada del número de especies diferentes de microorganismos que componen el flóculo.
- **Fibras orgánicas:** Son partículas macromoleculares procedentes del influente, que quedan atrapadas en los flóculos. Además de por su gran tamaño, normalmente se pueden reconocer por su estructura fibrosas.

7. NORMAS INTERNACIONALES REFERENTES AL AGUA

7.1 Principios de Dublín y AGENDA 21.

Conferencia Internacional Sobre Agua y Medio Ambiente (Dublín, 1992).

Los principios adoptados en esta conferencia habían sido abordados previamente en la Conferencia de Copenhague, en 1991; ambas reuniones fueron preparatorias para la cumbre sobre desarrollo y medio ambiente (Rio de Janeiro). Quinientos participantes refrendaron cuatro principios rectores en la declaración de Dublín:

1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo el medio ambiente.
2. El desarrollo y manejo del agua deberían ser participativos, involucrando a planificadores y formadores de políticas en todos los niveles.

3. La mujer desempeña un papel fundamental en la provisión, manejo y salva guarda del agua.
4. El agua tiene un valor económico en todo los usos de la misma que compiten entre sí y deberían reconocerse como un bien económico (UNESCO 2012)

7.2 AGENDA 21, Cumbre de La Tierra (Rio de Janeiro1992)

En la Agenda 21, el capítulo 18 se ocupa de los recursos de agua dulce –manejo integrados de Recursos Hídricos – declara: La ordenación integrada de los recursos hídricos se basa en la percepción de que el agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural y un bien social, económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. Con tal fin, hay que proteger esos recursos, teniendo en cuenta el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y el carácter perenne del recurso con miras de satisfacer las necesidades de agua en las actividades humanas. En el aprovechamiento y el uso de los recursos hídricos, darle prioridad a las necesidades básicas y a la protección de los ecosistemas. Sin embargo, una vez satisfechas esas necesidades los usuarios del agua tienen que pagar tarifas adecuadas. También, la Agenda 21, en el capítulo 15 – referida en la conservación de la Diversidad Biológica declara: (deberían identificarse) los procesos y las actividades que tienen considerables repercusiones sobre la diversidad biológica, (deberían tomarse medidas) cuando sea necesario para la conservación de la diversidad biológica mediante la conservación in situ de los ecosistemas y hábitat naturales, (debería promoverse) la renovación y restauración de los ecosistemas dañados y la recuperación de las especies amenazadas o en peligro.

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) la firmaron 156 Estados en junio de 1992, y para septiembre de 1999, 175 la habían ratificado uno de ellos el estado salvadoreño.

7.3 Convenciones y Foros Internacionales sobre la Gestión del Agua.

A)- Reunión de expertos en manejo del agua (ARARE ZINBAGUEW, 1998)

La reunión de grupos de expertos retomó el capítulo 18 de la Agenda 21, reafirmando que este principio constituye la base de acción respecto al agua dulce, y se confirmó que:

1- La integración de los ecosistemas y la conservación de agua dulce en los ecosistemas es vital para el desarrollo sostenible. Estos ecosistemas son en sí mismos usuarios, reguladores y proveedores de recursos basados en el agua dulce (incluyendo la pesca). Es por tanto, necesario promover un enfoque eco sistémico en la planificación desarrollo y manejo de recursos, integrados de agua dentro del marco de sistemas de cuencas de ríos y acuíferos (UNESCO 2012)

B)- Conferencia mundial sobre recurso hídrico (Paris 1998).

Este evento reunió a ministros y delegados de 85 países, se aprobó la declaración de Paris, en la cual se comprometen a apoyar la aplicación de dos líneas estratégicas:

1. Promover toda la integración de todos los aspectos relativos al desarrollo, manejo y protección de los recursos hídricos.
2. Movilizar adecuadamente recursos de los sectores financieros, públicos y privados.

8. METODOLOGÍA

8.1 Descripción del Área de Estudio

Las muestras utilizadas en este estudio de caracterización de lodos se colectaron en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales ubicada en San Salvador, comenzando. La planta de tratamiento de aguas residuales de Industrias La Constancia División Cerveza está localizada en el barrio Lourdes, frente al Reloj de Flores al final de la Alameda Juan Pablo II y Avenida Independencia, San Salvador (13°41'53"N, 89°10'43"O). Esta planta de tratamiento posee dos reactores: uno anaerobio y otro aerobio. El reactor anaerobio tiene una capacidad de 1200 m³ y posee un tiempo de retención de 32 horas. Dentro de éste hay una descomposición natural de los ácidos carboxílicos de cadena larga por medio de hidrólisis, hacia ácidos carboxílicos de cadena corta. Estos son descompuestos por bacterias metanógenas y acetanógenas, produciendo biogás compuesto por vapor de agua, CO₂ y CH₄, el cual se utiliza para las calderas en el proceso de fabricación de cerveza. El efluente de reactor anaerobio, luego de la separación de los lodos anaeróbicos por parte de un separador laminar pasa a un reactor aerobio, constituido por un reactor de lodos activados tradicionales, cuyo componente principal consiste en un tanque de concreto donde se mezclan y airean poblaciones microbianas mediante aire inyectado mediante sopladores.

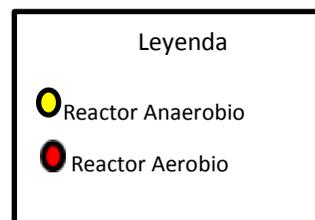
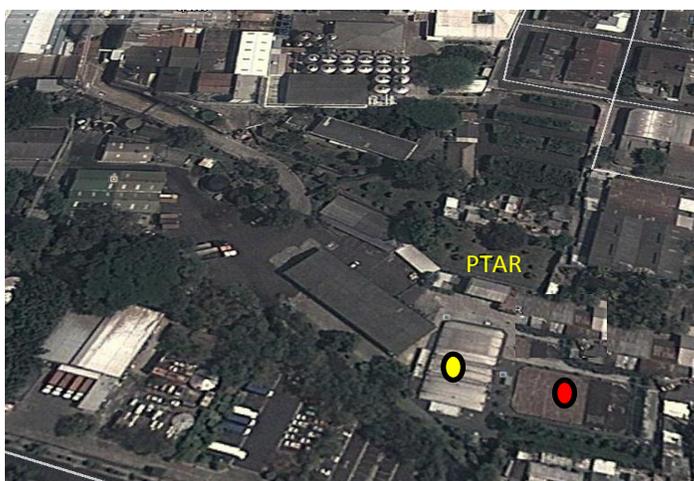


Figura 1. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales dentro de Industrias La Constancia, División Cerveza. San Salvador. (Fuente: Google Earth, 2009).

8.2 Fase de Campo

8.2.1 Muestreo

Este estudio se realizó con agua del reactor aerobio de la planta de aguas residuales y se tomó una muestra semanal de agua en tres puntos diferentes.

8.2.1.1 La primera muestra se tomó en la salida del reactor anaerobio donde se ubica el separador laminar que es la entrada al tanque de lodos activados y luego se etiquetó.

8.2.1.2 la segunda muestra se tomó en el Tanque de lodos activados que se encuentra ubicado en un costado del reactor anaerobio ver la figura 2.a, se etiquetó al ser tomada la segunda muestra.

8.2.1.3 La tercera muestra se tomó en la salida final de la planta de tratamiento de lodos activados esta muestra se obtuvo de un pozo de agua ubicado al final de tanque de lodos donde están listas para ser vertidas al cuerpo receptor ver figura 2.c los muestreos se hicieron por un periodo de 6 meses, haciendo un total de 12 muestras durante el periodo de estudio; de las muestras colectadas se analizaron diferentes parámetros físico-químicos según la tipología de la muestra.

Procedimiento para la Toma de las Muestras

Utilizando una pértiga para la toma de la muestra en los puntos diferentes del reactor aerobio (figura 2), se obtuvieron 2000 ml de lodo y 100 ml de agua de la entrada y salida del mismo; luego se depositan en frascos apropiados. Luego se llevaron al laboratorio para realizar los parámetros físicos-químicos. En la figura 3 se presenta el esquema de la planta de tratamiento, parte aeróbica. (Lodos activados)



a

Figura 2. a) Separador laminar



b

b) Tanque de lodos



c

c) Pozo de agua tratada. Fotos. Pérez, L



Figura 3. Esquema de la depuradora de lodos activados con los tres puntos de muestreo.

8.3 Fase de laboratorio

En esta parte de la investigación se describen los resultados obtenidos de los parámetros físicos químicos, biológicos y operacionales de los 12 muestreos, durante el periodo de estudio de la entrada, el tanque de lodos activados y la salida del reactor aerobio de la planta de tratamiento de aguas residuales de origen cervecero de Industrias La Constancia. S.A.

Los datos obtenidos se han resumido en las tablas 2 a la 5 y se han elaborado para caracterizar el funcionamiento de la planta y evaluar la calidad del efluente final con respecto al marco legal local.

8.3.1 Parámetros Físico-Químicos

Estos parámetros se analizaron utilizando métodos ya en uso dentro del laboratorio de control interno de la planta de tratamiento de aguas residuales, código PR-ARC-002, edición 2.

A las muestras de la salida se le midieron pH, temperatura, DBO, DQO al momento de ser colectadas: dichos parámetros se midieron y se compararon con la Norma Salvadoreña (NSO) 13.49.01:09 obligatoria (VON NORDESKJOLD, 2009).

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS					
PUNTOS DE MUESTREO	PH	T°C	DQO mg/l	DBO ₅ mg/l	Solidos suspendidos totales
Entrada (L)	✓	✓	✓	✓	-
Oxidación (A)	✓	✓	-	-	✓
Salida (O)	✓	✓	✓	✓	-

Tabla 1. Parámetros físicos-químicos y biológicos del reactor aerobio.

✓ Toma del parámetro — No se toma este parámetro

8.3.1.1 PH y Temperatura

Estos parámetros se midieron con un termómetro digital con sensor de temperatura incorporada que incluye un Phmetro, marca Hanna instruments y se realiz

aron de la siguiente manera: se tomaron las muestras en la fase de campo y se llevaron al laboratorio este es el primer parámetro que se tomó por que las condiciones de la muestra podían cambiar o alterar el PH o la temperatura de la muestra (Tabla 2)



Figura 4. a) Toma de PH y Temperatura de la entrada del tanque de lodos. Fotos. Pérez, L.

8.3.1.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se utilizó para medir el grado de contaminación del material orgánico contenido en una muestra líquida mediante la oxidación química. Este se realizó en un Termo reactor marca HACH DRB 200.

Procedimiento:

1. Se colocaron 2 viales con reactivo para DQO en la muestra de la entrada del reactor aerobio y en la salida de este.
2. Se depositaron 100ml de lodo en un frasco plástico con tapón etiquetado, y se llevaron al laboratorio
3. Se tomó PH y temperatura, luego se agitaron en un beaker, se tomaron 2ml de agua residual de la entrada (L) y 2ml de agua en la salida (O) y se depositaron en un vial que contenía reactivo para DQO.
4. Luego se precalentó un termo reactor por dos horas a 150°C, luego se esperó que se enfriaran para luego ser medidos en un espectrofotómetro con sus correspondientes blancos, y posterior a eso se tomaron los resultados y se tomó nota de los datos obtenidos.



Figura 5. **a)** Muestra de la entrada del reactor (L)

b) Muestra de la salida (O). Fotos. Pérez, L.



c) Muestra en viales con reactivo para DQO

d) Termo reactor con muestras Fotos. Pérez, L.

8.3.1.3 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Es el parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación donde se determina el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de agua residual, a consumo de oxígeno: la medición se lleva a cabo en 5 días a temperatura controlada.

Este parámetro se tomó una vez cada semana, el volumen se determinó de la siguiente manera:

1. Se tomó un balón de 43.5 ml de muestra de agua de la entrada (L), 432 ml de agua de muestra para la salida (O) y se colocaron en una botella de OxiTop.
2. Colocó una barra agitadora magnética dentro de la botella Oxitop.
3. Se agregó el inhibidor de nitrificación según el volumen de muestra
4. Se Colocaron 2 lentejas de Hidróxido de Sodio un vaso de caucho para lentejas.
5. Se tapó la botella de Oxitop y se accionaron las teclas correctamente para activar el registro que inició el acondicionamiento.
6. Luego se conectó el Termo refrigerador con temperatura constante de 20 ± 0.5 °C
7. Se colocaron las botellas con el OXITOP sobre el sistema de agitación ubicado dentro de la incubadora por 5 días a $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5$ °C.
8. Luego el sensor registró los valores obtenidos cada 24 horas en forma automática y se tomaron los datos del quinto día del valor obtenido de la muestra.

Los datos obtenidos fueron registrados en la hoja de toma de datos para analizarlos.



Figura 6. a) Muestra en botes con reactivo para DQO b) Muestras en refrigeración Fotos. Pérez, L.

8.3.1.6 Sólidos Suspendidos Totales

Representa la concentración de sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un medio filtrante, secado y llevado a un peso constante a una temperatura entre 150-200°C En una estufa siguiendo el procedimiento para la toma de la muestra según procedimiento del manual de laboratorio de ILC de la siguiente manera:

1. Agregaron 10 ml de agua destilada a una cubeta limpia.
2. Se midió como blanco en el fotómetro.
3. Se tomó 10 ml de muestra de la salida del reactor aerobio y se midió en el fotómetro y se leyó la lectura precisa.
4. Se tomó nota de los resultados obtenidos.



Figura. 7 fotómetros con muestra de la salida

8.4 Parámetros operativos

Para realizar esta parte del estudio se tomaron en cuenta los datos del proceso que se describen a continuación:

8.4.1 Caudal

Es la cantidad de agua obtenida durante el día en el reactor aerobio del proceso industrial expresada en metros cúbicos de agua al día este dato se encuentra en la de parámetros operativos (tabla 3)

8.4.2 Cargas Orgánicas (F/M)

$$\text{Carga orgánica (kg /día)} = \frac{\text{Kg DQO}}{\text{día}}$$

8.4.3 Alimentos a Microorganismos Ratio (F / M)

comida-microorganismos (F / M) esta relación indica la carga orgánica en el sistema de lodos activados y de esta carga aplicada depende el rendimiento de oxidación y la calidad del lodo biológico, o sea alta o baja cantidad de nutrientes (alimento) o alta y baja cantidad de microorganismos. Y se expresa en kilogramos de DQO entre kilogramo de Sustancia Seca por día. Se expresa como: (Bitton 2005)

$$F/M = \frac{\text{kg DQO}}{\text{kg DS} * V}$$

8.4.4 Índice Volumétrico de Lodos

Sirve para medir el grado de esponjamiento (bulking) de una biomasa, se ha usado tradicionalmente el Índice Volumétrico de Fangos (S.V.I. en siglas inglesas), que se define como la cantidad de lodo sedimentado en centímetros cúbicos por litros entre concentración total de los sólidos suspendidos en gramos por litro.

$$I.V.L. = \frac{\text{cono cc/l}}{\text{TSS (g/l)}}$$

Dónde:

I.V.F.: Índice Volumétrico de lodo, g/l.

Cono cc/l = es el volumen (cc) de 1 gramo de lodo.

TSS: la concentración total de los sólidos suspendidos en gramos por litro.

8.5 Análisis biológicos

Son los análisis al microscopio del lodo activado que se realizaron una vez a la semana utilizando el manual de identificación del Grupo Sevilla durante el periodo en estudio. (Anexo 10).

8.5.1 Equipo

Para el análisis del lodo se utilizó un microscopio de campo claro con objetivos de 10x, 40x y 100x, para ver con transparencia y observar detalles morfológicos que presenta la muestra, esto se realizó el mismo día de la toma de la muestra.

8.5.2 Características del Lodo Fresco

Las características del flóco que es la unión de materia orgánica junto con microorganismos del lodo activado se observaron al microscopio de campo claro y fueron las siguientes:

1. Tamaño y estructura del Flóco (grande o pequeño, abierto o compacto)
2. Crecimiento disperso
3. Índice de filamentos (IF): se toma el dato entre 0 y a 6 respecto a la abundancia del filamento o ausencia del mismo
4. Efecto de la filamentosa en el flóco (puentes, estructura abierta, ningún efecto)
5. Presencia o ausencia de micro fauna
6. Presencia o ausencia de otro material (Tabla 4)

8.5.3 Análisis de las Bacterias Filamentosas

En el análisis de las bacterias filamentosas, se tomaron en cuenta estas indicaciones:

- La ubicación del filamento dominante (dentro o fuera del flóco)
- La forma del filamento (recto o curvo)
- Presencia de ramificaciones
- Presencia de crecimiento epifítico
- Forma de la célula
- Resultado de la tinción de Gram. (Tabla 4).

8.5.4 Muestras

En esta parte se le agregó la tinción de Gram a cada muestra que es el colorante que produce una serie de reacciones químicas, cuyas respuestas nos permitieron confirmar la identificación de microorganismos filamentosos, que se realizaron sobre un “frotis fijo”, de

la manera siguiente, se tomó un portaobjetos, previamente desengrasado en posición inclinada se aplicó gota de muestra bien homogenizada sobre la lámina, luego este portaobjetos se dejó secar al aire en posición horizontal, sin utilizar ninguna fuente de calor.

8.5.4.1 Preparaciones

Sobre la base de su reacción a la tinción de Gram, las bacterias pueden dividirse en dos grupos: Gram positivas y Gram negativas. Las bacterias de hecho se tiñen de forma distinta debido a las diferencias constitutivas en la estructura de sus paredes celulares. En este trabajo el resultado de la tinción sirve para ayudar en la identificación de las bacterias filamentosas. La identificación sirve para reconocer su morfología, características de tinción e identificarlas de acuerdo a la clasificación en que las posiciona la composición de sus paredes que puede ser Gram positiva o Gram negativa o algunas bacterias pueden presentar una capacidad variable de tinción de Gram y se llaman Gram variables.

8.5.4.2. Preparaciones Fijas

Para preparar la muestra para la tinción de Gram, es necesario hacer una preparación fija. Se tomó un portaobjetos, previamente desengrasado y en posición inclinada, se aplicó una gota de muestra bien homogenizada sobre la lámina y luego este portaobjetos se dejó secar al aire en posición horizontal, sin utilizar ninguna fuente de calor.

8.5.4.3. Procedimiento de la Tinción de Gram

Materiales

Solución I (Anexo7)

Solución A

- 1.- Se tiñó por un minuto con solución I de cristal violeta
- 2.- Se lavó con agua destilada por unos segundos
- 3.- Se aplicó solución II de Lugol durante un minuto
- 4.- Luego se lavó con agua destilada

- 5.- Se aplicó la solución decolorante gota a gota durante 30 segundos
- 6.- Luego se Lavó con agua destilada
- 7.- Se tiñó con solución III de Safranina durante un minuto
- 8.-Se Lavó con agua destilada
- 9.- Luego se secó por absorción con papel secante
- 10.-Se observó al microscopio con objetivo de inmersión (100X), campo claro.

Resultados:

Filamento morado: Gram positivas

Filamento rosado: Gram negativas

Filamento morado y rosado: positiva/negativa (Gram variable)

9. RESULTADOS

Los parámetros Físicos-químicos, biológicos y operacionales obtenidos de los 12 muestreos del reactor aerobio donde están ubicados de la siguiente manera:

- 1) Al final del tanque del reactor anaerobio se encuentra el separador laminar (objeto de estudio para esta investigación) que se conecta con el tanque de lodos activados
- 2) El tanque de lodos activados
- 3) La salida del reactor aerobio (pozo) de la planta de tratamiento de aguas residuales de origen cervecero de industrias la constancia. S.A.

Los datos obtenidos se resumieron en tablas y se han elaborado para caracterizar el funcionamiento de la planta y evaluar la calidad del efluente final con respecto al marco legal local. Los resultados de las mediciones de los parámetros físico-químicos se presentan en la Tabla 3.

9.1 Resultados: Entrada y Salida ASB

	T°C			PH			DQO mg/l		DBO5 mg/l		TSS Ox(g/l)
	Entrada	Oxidación	Salida	Entrada	Oxidación	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Oxidación
M1	36.6	32.8	32.9	7.55	8.10	8.22	662	88	140	12	3.78
24/07/13											
M2	36.2	32.7	32.7	7.34	8.0	8.05	641	77	640	17	4.61
29/07/13											
M3	35.7	32	31.4	7.61	7.98	8.17	630	72	140	11	5.17
15/08/13											
M4	36	32.8	31.8	7.39	7.96	8.06	818	69	240	11	5.41
28/08/13											
M5	35.4	31.4	31	7.47	8.11	8.45	719	43	280	9	5.21
05/09/13											
M6	34.7	31.2	30	7.41	8.0	8.13	741	57	240	8	5.5
26/09/13											
M7	35.7	32.1	31.7	7.54	7.97	8.07	546	56	220	10	5.14
02/10/13											
M8	34.1	31.2	30.4	7.71	8.17	8.10	507	49	140	12	6.0
15/10/13											
M9	35.8	32	31.1	7.81	7.98	8.0	410	98	180	13	5.73
17/11/13											
M10	36	31.8	30.8	7.68	7.92	8.99	2010	82	400	22	6.01
27/11/13											
M11	34.3	30.7	30.1	7.42	8.12	8.22	789	68	320	12	6.13
10/12/13											
M12	35	25.9	28	7.38	7.75	7.74	789	71	450	14	4.97
22/01/14											

Tabla 2. Parámetros Físico-Químicos durante el periodo de estudio.

9.2 Resultados: Tanque de Oxidación

Fecha	ω = cantidad de agua del ASB m ³ /d	F/M= Kg DQO Kg TSS*día	IVL= Vol. lodo TSS(g/l)	% (Oxidación)= $\frac{\text{Carga salida} - 1}{\text{Carga entrada}} * 100$	Cono 30 minutos ml/l
M1	500	0.10	92.6	86.7	350
24/07/13					
M2	500	0.08	97.4	87.8	450
29/07/13					
M3	500	0.07	96.7	88.5	500
15/08/13					
M4	500	0.09	138.6	91.5	750
28/08/13					
M5	500	0.08	139.1	94	725
05/09/13					
M6	500	0.08	154.5	92.3	850
26/09/13					
M7	500	0.06	116.7	89.7	600
02/10/13					
M8	500	0.05	106.6	90.3	640
15/10/13					
M9	500	0.04	78.5	76	450
17/11/13					
M10	500	0.20	49.9	95.9	300
27/11/13					
M11	500	0.07	57.0	91.3	350
10/12/13					
M12	500	0.09	72.4	91	360
22/01/14					

Tabla 3. Parámetros operativos del reactor aerobio.

9.3 Análisis Biológicos

Las poblaciones de las bacterias filamentosas involucradas en el tanque aeróbico consideradas resultaron ser muy variadas; la evaluación de las mismas está en función de las condiciones de operación del reactor aerobio.

La identificación de las bacterias se hizo de acuerdo al manual del grupo Sevilla 2011 el cual es un trabajo previo retomado del manual de Eikelboom de investigación de microscopia de lodos activos.

9.3.1 Procedimiento:

- Después de llevar cada muestra al laboratorio de la Planta se tomó una muestra al fresco y se señalaron las características físicas del lodo en vivo en el microscopio de campo claro y se tomaron fotografías y luego se anotó en la hoja de datos posterior a la tinción de Gram.

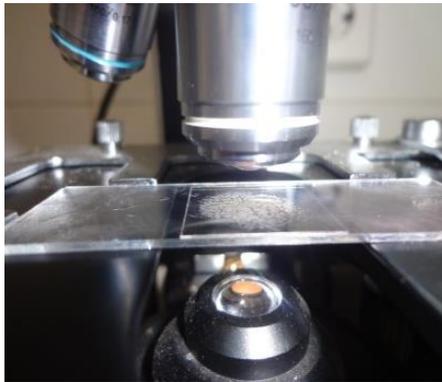
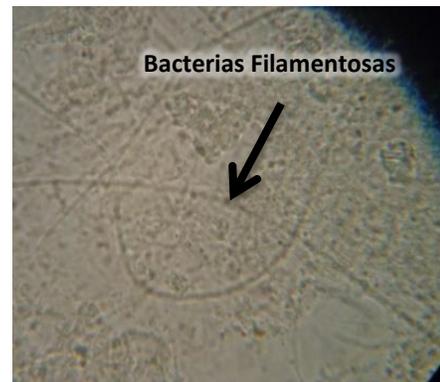


Figura 8. a) Observación de la muestra sin teñir



b) identificación de filamentos. Fotos. Pérez, L.

9.3.2 Tinción de Gram (Método Hücker Modificado)

Procedimiento:

- Se prepararon frotis fijos en portaobjetos previamente limpios, secados al aire. La muestra se añadió en el portaobjetos inclinado, con el fin de que los filamentos se distribuyeron separadamente en dicho portaobjetos.



Figura 9.a) Preparación de muestra en seco



b) Kit de tinción de Gram. Fotos. Pérez, L.

- Se tiñó durante 1 minuto con la Solución I de cristal violeta y se aclaró con H₂O destilada goteada desde el extremo del portaobjetos suavemente durante algunos segundos.
- Luego se aplicó durante 1 minuto la Solución II de lugol y se dejó escurrir el exceso de colorante (lavó con H₂O destilada).
- Se decoloró con alcohol cetona gota a gota durante 25-30 segundos y se lavó posteriormente con H₂O destilada.
- Luego se tiñó durante 1 minuto con la Solución III safranina, después se lavó con H₂O destilada y se secó por absorción (papel secante).

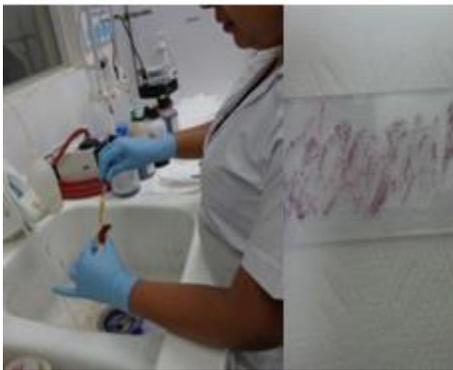
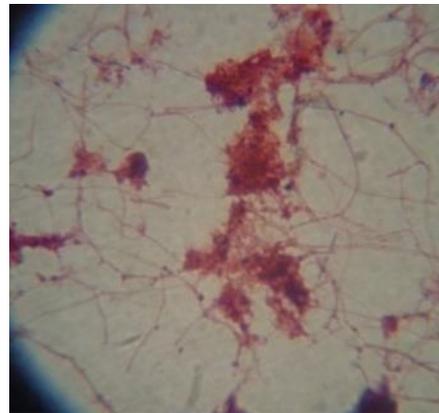


Figura 10. a) Tinción muestra



b) Bacteria Sp1 teñida. Fotos. Pérez, L.

Se observó bajo aceite de inmersión con 1.000x e iluminación directa (sin contraste de fases) y se anotó en la hoja de datos según su coloración Color azul: violeta Gram positivo, Color rojo: rosa Gram negativo. Ver tabla datos. 3

FECHA	Características flóco Abierto/cerrado/ideal	Presencia lodo +/-/+/+	Presencia de filamentos (I-F/0-6)	Micro fauna	Otro material	Tipología filamentos	Análisis filamentosa dominante					GRAM
							Ubicación	Forma filamento	Ramificación	Forma célula	Presencia de gránulo	
M1 24/07/13	Flóco compacto	+/-	3	presencia	-	2-3	Intrafloral	Irregular	No	No se observan	No	NEG
M2 29/07/13	Flóco abierto	+/-	3	presencia	-	8-10	Extrafloral	Irregular	No	Ovaladas	No	-
M3 15/08/13	Flóco abierto	++/---	4	presencia	-	5-7	Intrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M4 28/08/13	Flóco abierto	++/--	3	presencia	-	4-6	Extrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M5 05/09/13	Flóco compacto	+/-	4	presencia	-	4-6	Extrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M6 26/09/13	Flóco Ideal	+/-	4	presencia	-	5-7	Extrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M7 02/10/13	Flóco Abierto	++/--	3	presencia	-	4-6	Extrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M8 15/10/13	Flóco Abierto	++/--	5	presencia	-	4-6	Extrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M9 17/11/13	Flóco Compacto	+/-	4	Presencia	-	4-6	Intrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M10 27/11/13	Flóco abierto	++/--	3	presencia	-	4-5	Extrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M11 10/12/13	Flóco Abierto	++/--	4	presencia	-	4-6	Intrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-
M12 22/01/14	Flóco Abierto	++/--	4	presencia	-	4-6	Extrafloral	Irregular	No	No se observan	No	-

TABLA 4. Parámetros operativos del reactor aerobio.

9.4 Análisis de Resultados.

Después de haber analizados los datos obtenidos en el reactor de la entrada de agua durante la oxidación y la salida, (tabla 2) para luego ser analizados y obtener los resultados. El análisis de las muestras inicia con el estudio de las mediciones de los parámetros físico químicos y el comportamiento de las variables evaluadas las cuales se muestran a continuación.

9.4.1 Análisis de la Temperatura de los Muestreos (tabla 2)

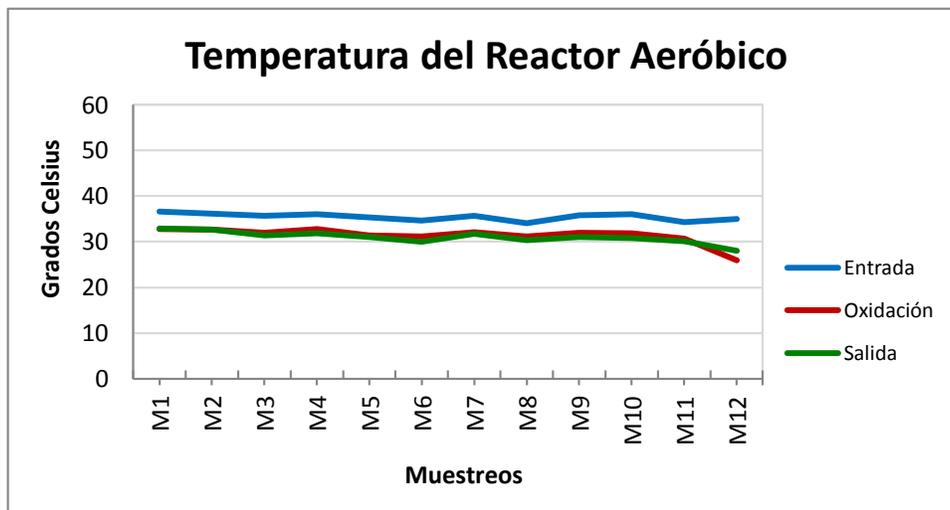


Grafico 1. Temperatura del agua de tres puntos del reactor aeróbico en estudio.

Al observar la gráfica observamos que la temperatura del agua de la entrada se mantiene aproximadamente alrededor de 37°C, bajando a 35°C, en el reactor de oxidación terminando en la salida con una temperatura promedio de 30°C, datos que varían porque son de tres puntos del reactor aerobio, estos valores se encuentran en el ámbito de los Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor (NSO) 13.49.01.

9.4.2 Análisis de PH de los Muestreos. (tabla2)

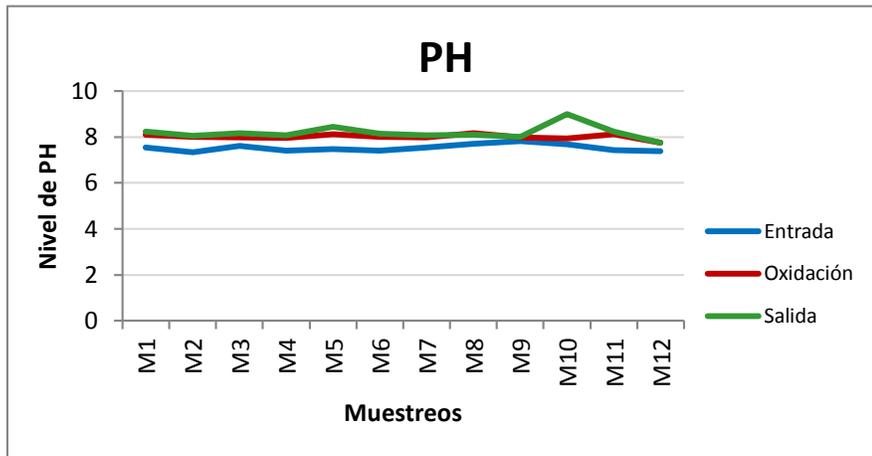


Grafico 2 Medición de PH en las muestras tomadas en el reactor aeróbico en estudio.

La relación de PH existente en los tres puntos de muestreo nos dice que se mantiene la constante entre las muestras observándose que el pH de la salida es ligeramente mayor que el dato de la entrada ya que influye en la coloración del agua de la salida y el potencial de iones de hidrogeno.

9.4.3 Análisis de la Demanda Química de Oxígeno de los Muestreos. (tabla2)

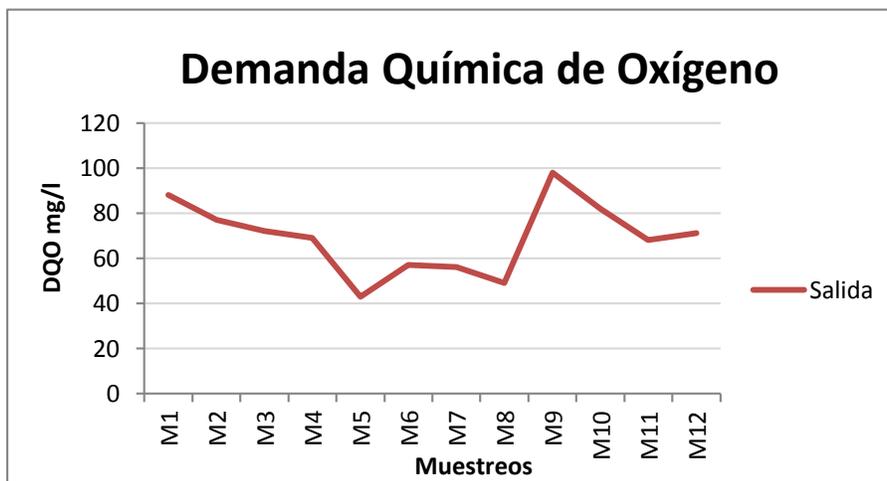


Grafico 3. Medición de la Demanda Química de Oxígeno en la y salida del reactor aeróbico en estudio.

Resultados obtenidos de la DQO en la entrada del reactor aerobio fueron constantes a excepción del muestreo 10 que fue diferente a causa de una operación realizada durante esa muestra. En la salida el DQO se mantuvo constante durante el estudio permitiendo así, los valores estables para ser descargada al cuerpo receptor.

9.4.4 Análisis de la Demanda biológica De oxígeno en Cinco Días (tabla2)

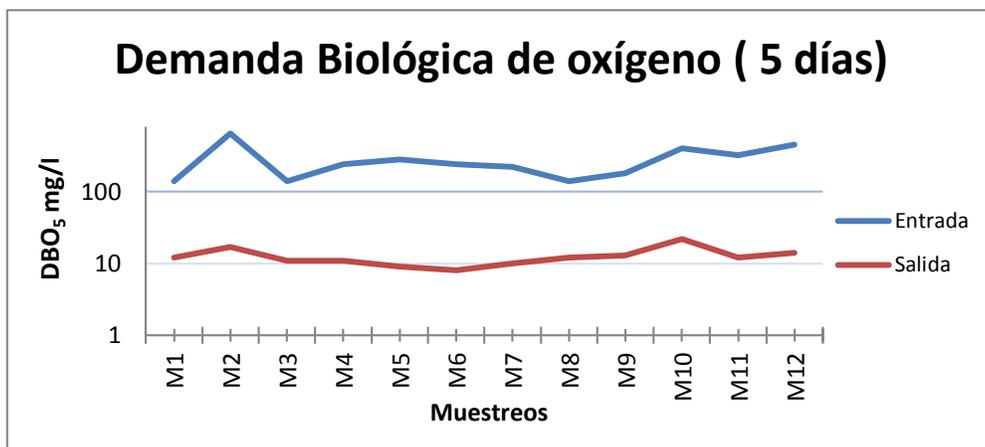


Grafico 4. Resultados obtenidos de la DBO₅ en la entrada y salida del reactor aeróbico en estudio, existiendo una remoción de la aireación en las aguas, tomado cinco días después de cada muestreo.

Durante el periodo de estudio la Demanda biológica de oxígeno en la entrada al reactor aerobio se mantuvo estable, mientras que en la salida se mantuvo debajo de los límites establecidos por la empresa que son de menor o igual a 360 mg/l, así como de la norma salvadoreña (NSO) 13.49.01. Que es igual a 200 mg/l que puede ser descargada al cuerpo receptor.

9.5 Parámetros Operativos

9.5.1 Análisis de los Sólidos Suspendidos



Grafico 5. Comportamiento de los sólidos Suspendidos totales en la oxidación del reactor aeróbico

Estos resultados obtenidos durante los meses en estudio se observó que los sólidos suspendidos totales en la oxidación (TSS ox g/l), se mantienen en una concentración apta al reactor aerobio y cuando hay exceso se comienza a prensar el lodo para poner este parámetro en su lugar, según el procedimiento de la planta

9.5.2 Sedimentabilidad del Cono (tabla 3).

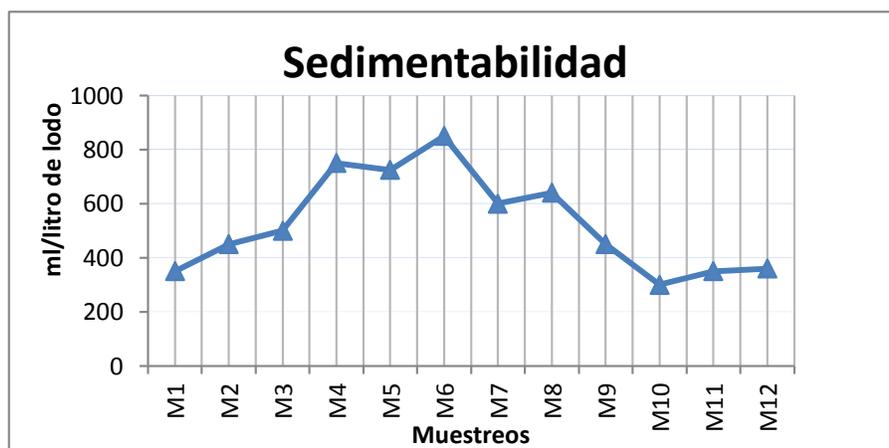


Gráfico 6. Sedimentabilidad o calidad de lodo en la oxidación

La Sedimentabilidad en el cono tuvo variaciones durante el periodo considerado, eso puede depender de las características del lodo o de su concentración. Esto significa que existe una remoción en el sistema que indica cuando es necesario calcular la cantidad de lodo que deberá desecharse el lodo del sistema.

9.5.3 Análisis de Calidad de Lodo (Tabla 3)

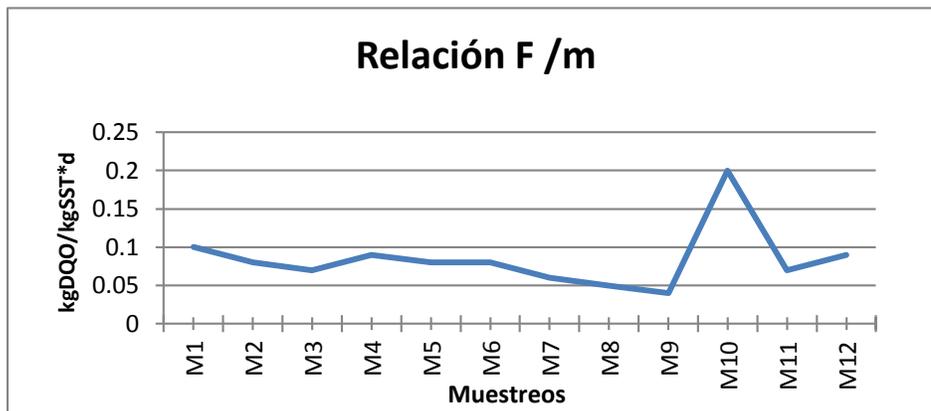


Gráfico 7. Carga orgánica del lodo del reactor aerobio.

La relación F/m (comida/microorganismo), se obtiene el dato de los kilogramos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), entre los kilogramos de sólidos suspendido totales (SST) por día; que es una variable importante a considerar en la formación del lodo filamentoso esto nos indica la cantidad de alimento-microorganismo que debe haber en el tanque para su consumo y demostrando así que en el periodo considerado, F/m se mantuvo alrededor de 0.08 kg/kg sin considerar ese punto anómalo del muestreo M10 entonces el F/m promedio es de 0.08 sin considerar en punto del Muestreo 10, ya se argumentó en la gráfica 3, que F/m se calcula a partir del dato obtenido de DQO.

9.5.4 Índice de Volumen de Lodos (Tabla 3)

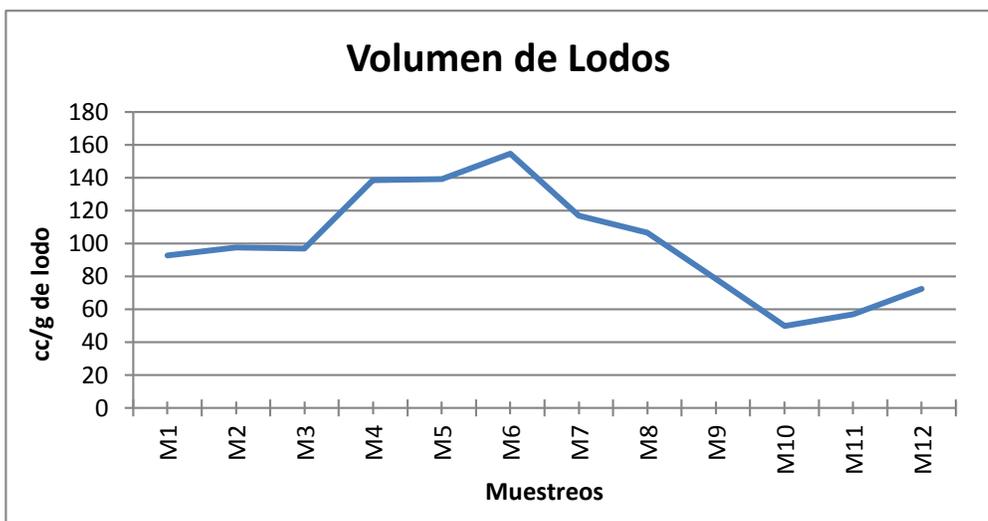


Gráfico 8. Índice de volumen de lodos

El índice de volumen de lodos da importante información de la operación del sistema de lodos, este registro se mantuvo entre 140 y 60 en el periodo considerado +, nunca alcanzando los valores críticos que identifican problemas de bulking, el IVL mayor de 200 ml/g y el crítico es arriba de 200 ml/g, aquí se mantuvo entre 70 y 160 entonces nunca alcanzó valores críticos.

9.5.5 Oxidación (Tabla 3)

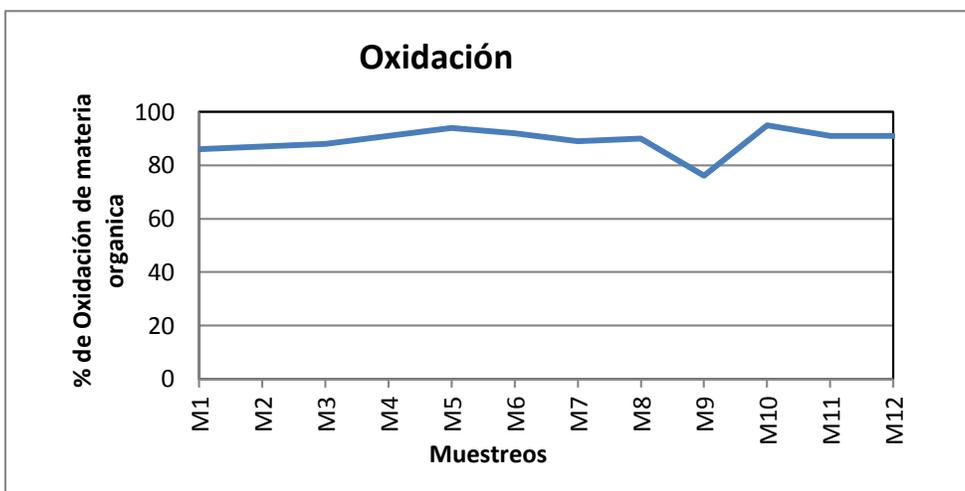


Gráfico 9. Oxidación de la materia orgánica en el tanque de lodos activados

La oxidación biológica es el rendimiento del sistema aeróbico por lo que significa según los registros que la transformación de sólidos disueltos a suspendidos se mantiene a excepción de un punto bajo de 3.97g lo que nos dice que el Demanda Química de Oxígeno de la entrada de ese muestreo fue de 2,010 mg/l, indica que hubo un incremento en la entrada al tanque de lodos activados ese día.

10. Identificación de Bacterias Filamentosas.

10.1 Bacterias encontradas en el reactor aerobio durante el periodo de estudio.

Muestras Fecha	Géneros de bacterias filamentosas		
	TIPO 021N	<i>Microthrix parvicella</i>	Sp1 (Propia del tanque)
M1 / 24/07/13	2	-	8
M2 / 29/07/13	3	8	8
M3 / 15/08/13	-	-	8
M4 / 28/08/13	5	-	7
M5 / 05/09/13	4	10	8
M6 / 26/09/13	-	-	8
M7 / 02/10/13	3	-	8
M8 / 15/10/13	3	6	8
M9 / 17/11/13	4	-	6
M10 / 27/11/13	4	8	8
M11 / 10/12/13	4	8	8
M12 / 22/01/14	4	10	8

Tabla.5 Bacterias filamentosas encontradas durante el periodo de estudio.

10.2 Bacterias Filamentosas

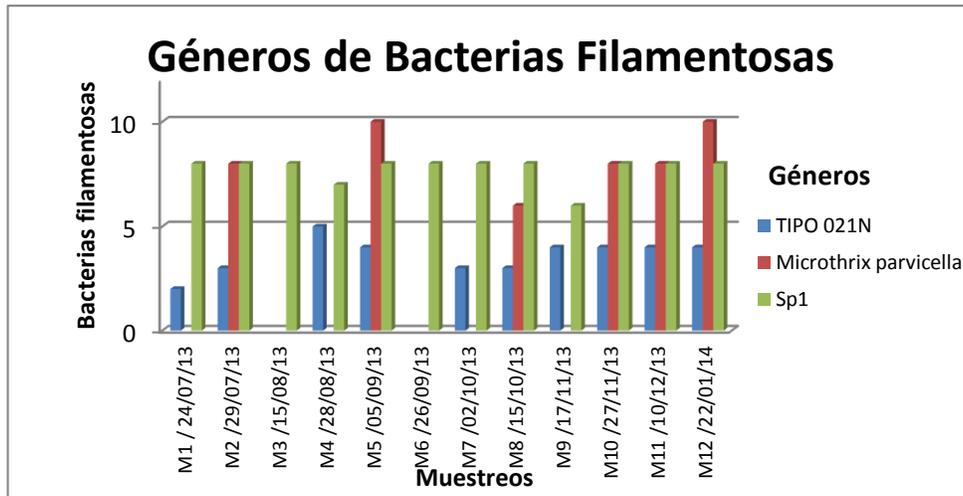


Grafico 10. Géneros de bacterias encontrados durante el periodo de estudio.

Observemos la gráfica el crecimiento de las bacterias en el reactor aerobio y la que es más abundante durante ese periodo que se estudió, *SP1* que es la más abundante y observada en todos los muestreos, seguida de *Microthrix parvicella* y el tipo 021N que es propia de aguas residuales industriales.

10.3 Descripción de Bacterias Filamentosas Encontradas.

Características más relevantes y representativas encontradas en las observaciones del estudio de las bacterias filamentosas.

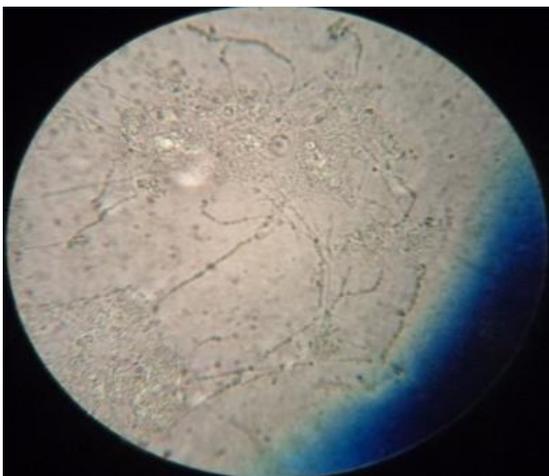


Figura 11. a) Muestra de Bacteria sin teñir Tipo 021N. 100x.

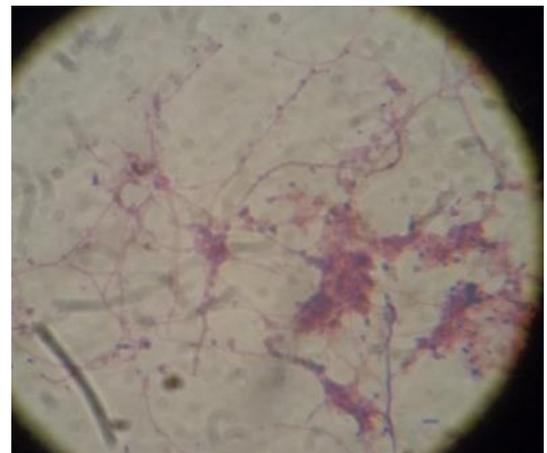


Figura b) Bacteria Tipo 021N teñida con tinción de GRAM 100x Fotos. Pérez, L.

- **Tipo 021N:** Bacteria filamentososa encontrada en el reactor aerobio tiene las siguientes características: forma puentes interfloculares, no se observó células dentro del filamentos, la tinción fue Gram - Este tipo de bacterias fue observada pocas veces durante el periodo de estudio. (GBS.2013).

Según las características observadas, estos microorganismos filamentosos existen siempre en los efluentes, de hecho, en bajas proporciones no generan problemas, al contrario, debido a que forman una malla, las bacterias floculadoras se le adhieren y se produce una masa con mayor peso que propicia una sedimentación más rápida.

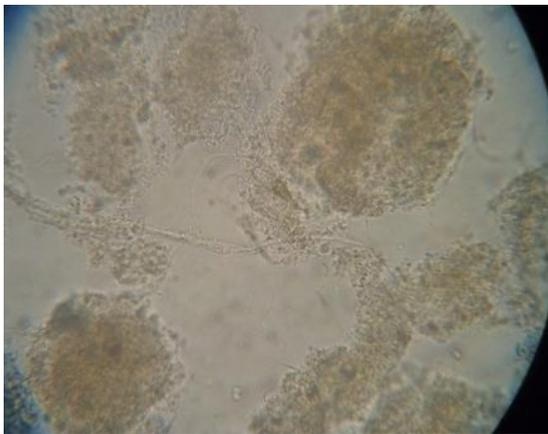
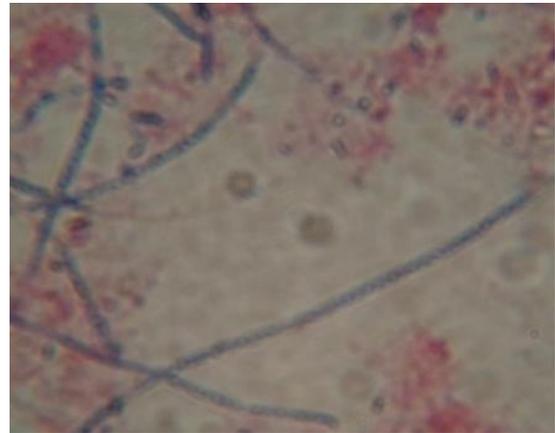


Figura 12 a) Muestra de Bacteria *Microthrix parvicella* sin teñir 100x.



b) Bacteria *Microthrix parvicella* teñida con tinción de GRAM 100x Fotos. Pérez, L.

- ***Microthrix parvicella*:** Bacteria filamentososa con filamento recto y curvado delgado extendiéndose desde la superficie del floculo hacia el exterior, formando enlaces o puentes interfloculares, no hay movilidad, ni crecimiento epifítico, sin ramificaciones, con septos celulares, bastante difícil de observar, células no observadas aunque parecen ovals, Gram +. (GBS.2013).

Este tipo de bacteria se presenta en algunas ocasiones bajas cargas en masas, temperatura normal, pH > 7, siendo óptimo 8, tiene una gran capacidad de desarrollarse bajo todo tipo de condiciones medioambientales según la literatura. (Rosetti et al., 2005)

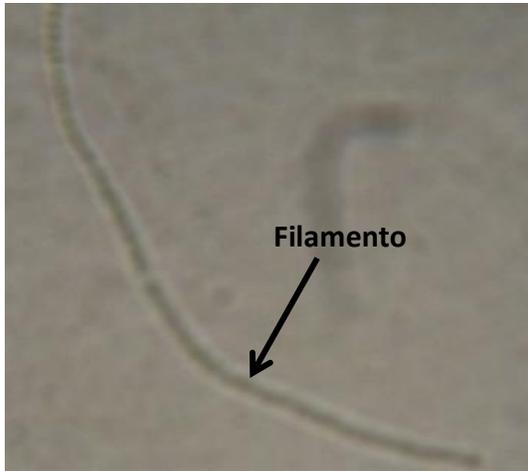
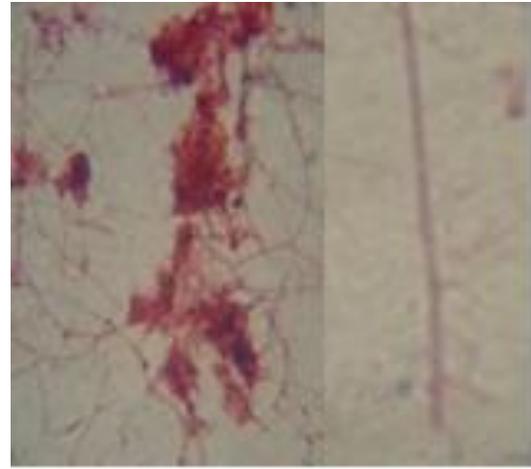


Figura 13 a) filamento de la Bacteria Sp1 sin teñir 100x,



b) Bacteria Tipo Sp1 teñida con tinción de GRAM 100x Fotos. Pérez, L.

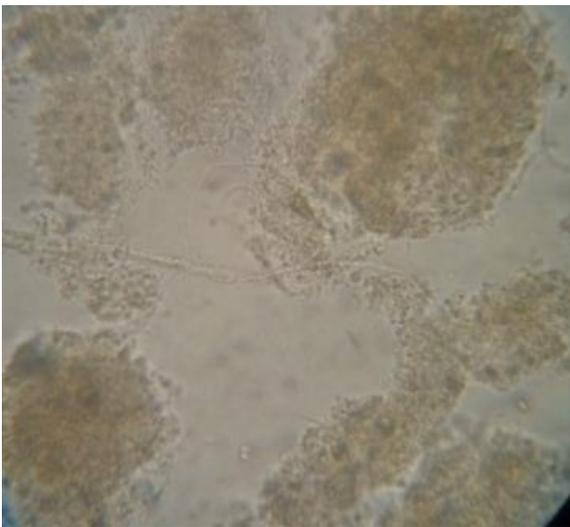
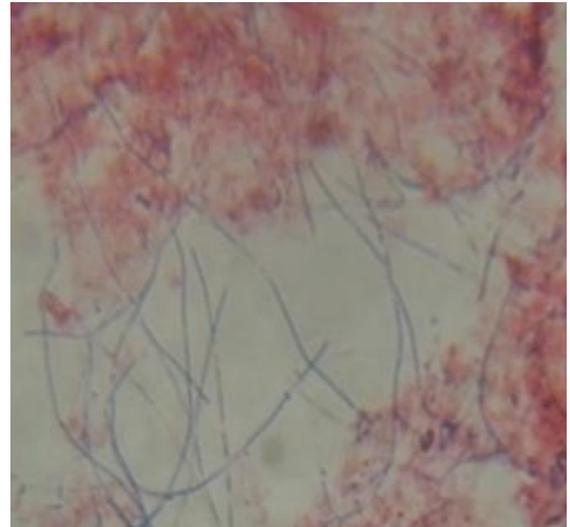


Figura 14 a) muestra del flóco sin teñir Bacteria Sp1, 100x



b) Bacteria Sp1 teñida con tinción de GRAM 100x. Fotos Pérez, L.

- **Sp1** : Esta bacteria fue la más observada durante el período de estudio; véase la figura 14 a, como se distribuye la bacteria dentro y fuera del lodo sin teñir, se observan los filamentos distribuidos por toda la muestra tomada al 100% y la muestra ya teñida con Gram, se observan los filamentos distribuidos.

Las características principales de esta muestra son: células ovaladas bien diferenciadas, la presencia de crecimiento epifítico importante, no ramificación, Gram -, tiene gran capacidad de desarrollarse en este ambiente ya que es el favorable para su supervivencia reproducción y desarrollo. (GBS.2013)

10.4 Microorganismos Asociados a las Bacterias Filamentosas.

- obsérvese la adherencia de las bacterias floculadoras y la abundancia de organismos filamentosos asociados a los flócos que son propios de estas aguas residuales de origen cervecero, las características de estas muestras son similares por lo que no existe una variación en los muestreos del estudio.

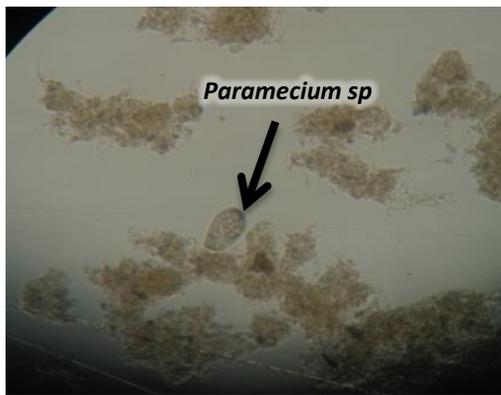


Figura 15 a) Muestra en vivo *Paramecium sp* sin teñir

b) Muestra de Cianofita sin teñir

- Imagen tomada al fresco de microorganismos activos en lodos activados de origen cervecero en el cual se identifica la presencia de *Paramecium* y Cianofitas, organismos que forman parte de la estructura principal en la cual se forman las filamentosas; obsérvese también la presencia de cómo se encuentran distribuidos dentro del flóco.

10.5 Formación de Flócos con las Bacterias Filamentosas

Las muestras estudiadas fue la valoración de las estructuras floculares generadas para cada agua residual presenta tendencia natural a la acidificación, rápida fermentación y baja presencia de nutrientes, lo que favorece este crecimiento desmedido de bacterias filamentosas que dificultan la decantación

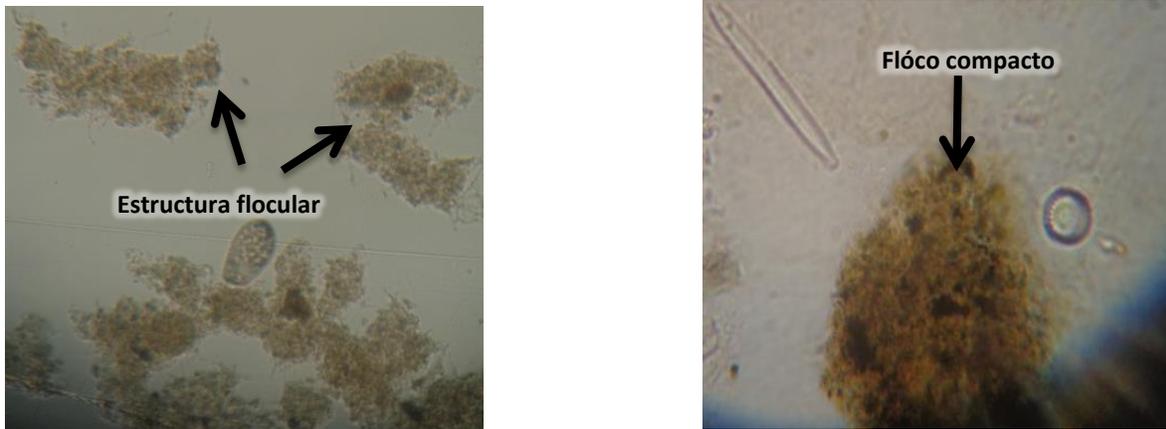


Figura 16. A) Muestra sin teñir de la estructura flocular b) flóco compacto del tanque de lodos. Estas imágenes muestran la forma en la que se distribuyen los flócos en el agua residual, este crea una adherencia de las bacterias floculadoras junto con otros microorganismos, que son capaces de consumir el sustrato y así cumple su propósito de degradar la materia orgánica para sedimentar.

10.6 Relación de las Bacterias Filamentosas con respecto a los parámetros Físico Químicos y Biológicos dentro del Tanque de Lodos Activados

10.6.1 Relación de Bacterias Filamentosas con la Temperatura

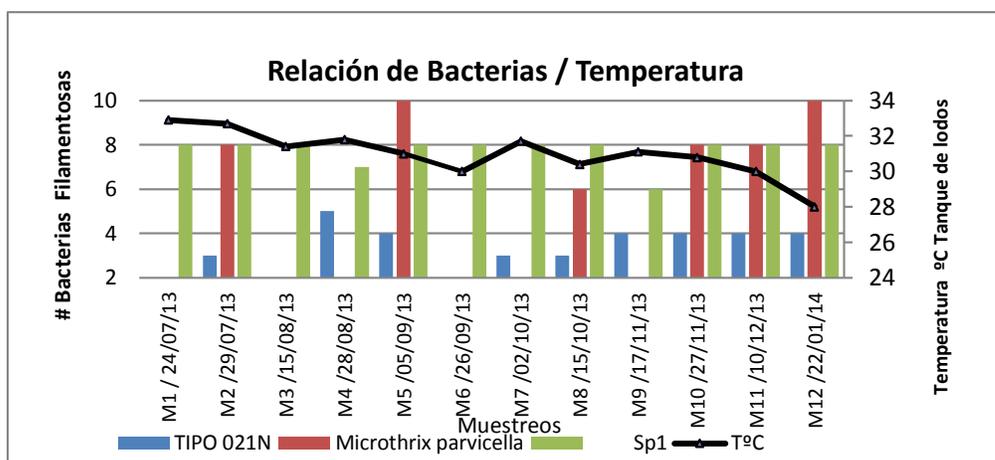


Grafico 11. Relación de bacterias filamentosas con respecto a la temperatura dentro de tanque de lodos.

Para comparar las bacterias filamentosas del tanque y relacionarlas con la temperatura se tomó en cuenta la temperatura de la salida ya que es la que se utiliza para compararla con la norma salvadoreña de los valores permisibles para ser descargados al cuerpo

receptor, esta comparación se hace con el objetivo de ilustrar a *grosso modo* el comportamiento de ellas con respecto a la temperatura y se puede decir que la interacción de las bacterias con la temperatura se mantiene dentro del tanque de lodos.

10.6.2 Relación de Bacterias Filamentosas con el PH

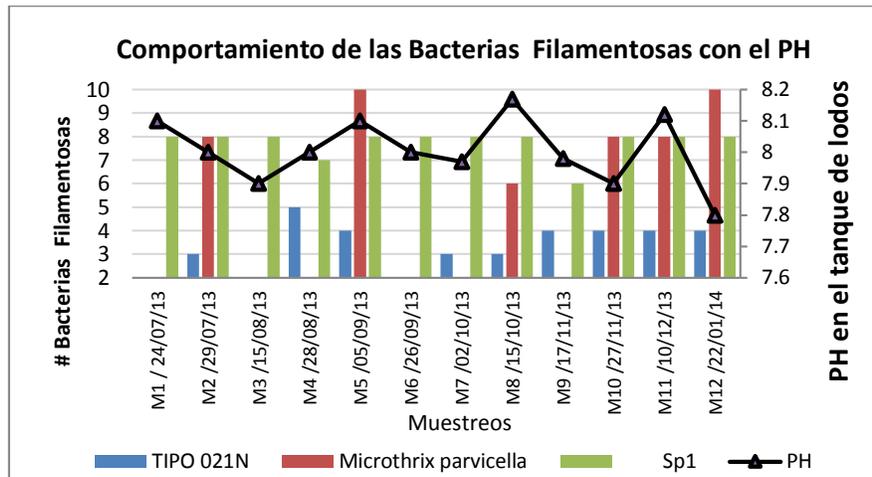


Grafico 12. Relación de las bacterias filamentosas con respecto al PH dentro tanque de lodos.

Esta relación de bacterias y PH se tomó también el parámetro de la salida por lo que se compara con la norma salvadoreña para ser descargada y observamos como el PH mantiene su rango de 6 -9 por lo que ellas están en ese rango de PH bajo condiciones normales así como se muestra en la gráfica en el M5 el PH de 8.1 que se observa un breve incremento de *Microthrix parvicella* en ese punto pero al observar el M10 donde su PH sube 8.2, lo que significa que esta bacteria aumenta significativamente

10.6.3 Relación de Bacterias Filamentosas con La Demanda Química de Oxígeno

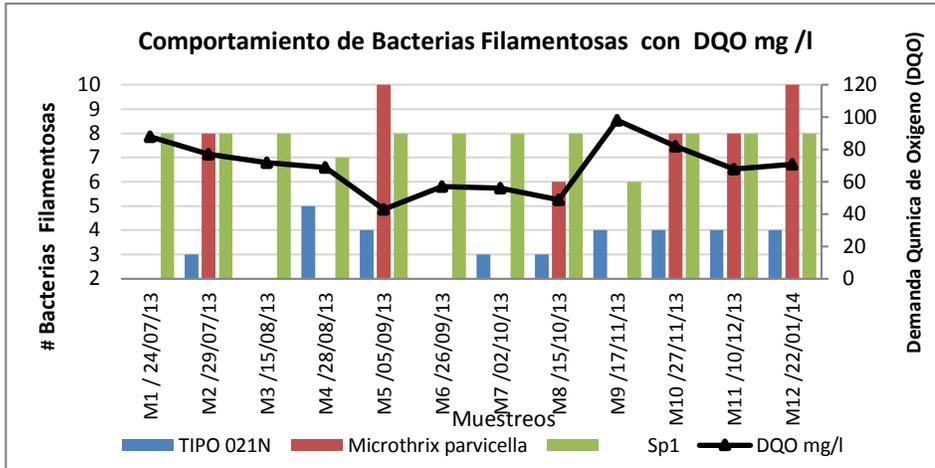


Gráfico 13. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la Demanda Química de Oxígeno dentro tanque de lodos activados.

La grafica muestra el comportamiento de la DQO de la salida y las bacterias presentes en el tanque, lo que significa que las bacterias están consumiendo lodo orgánico en proporciones normales esto hace que la carga del lodo y la DQO se mantengan en condiciones normales por la relación entre ambos ya que el DQO mide el material orgánico en el agua residual por medio de la oxidación, esto quiere decir cuánto oxígeno están consumiendo las bacterias en presencia de este agente químico.

10.6.4 Relación de Bacterias Filamentosas con la Demanda Biológica de Oxígeno para 5 días

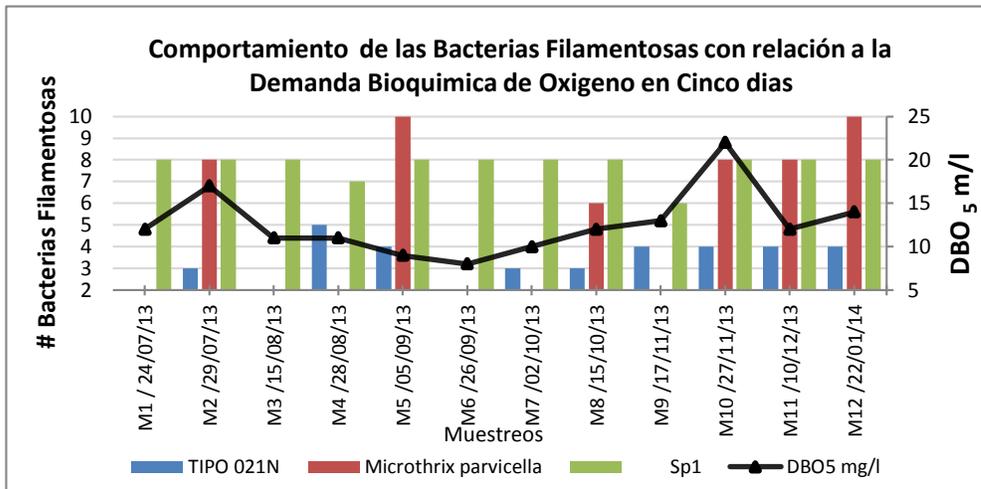


Gráfico 14. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno bajo condiciones aerobias en un periodo de cinco días, dentro del tanque de lodos activados.

Esta característica química mostrada en la gráfica nos dice el comportamiento de las bacterias en el proceso biológico dentro del reactor aerobio, Observándose una remoción de materia orgánica por parte de las bacterias como se observa en la gráfica hay una relación directa ya que el DBO5 nos dice cuanta materia biodegradable se está consumiendo y midiendo el gasto de Oxigeno de las bacterias dentro del reactor.

10.6.5 Relación de Bacterias filamentosas con Solidos Suspendidos Totales

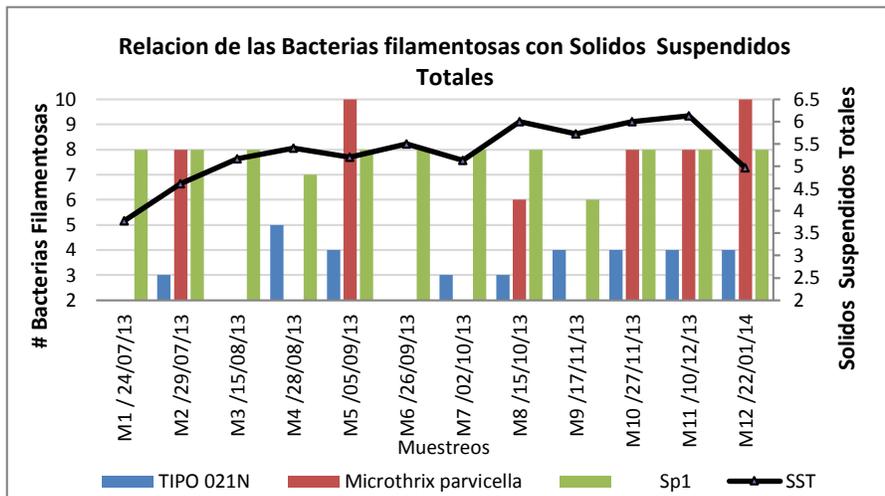


Grafico 15. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a los sólidos totales dentro tanque de lodos activados.

Los sólidos suspendidos como muestra la gráfica presentaron un comportamiento normal en presencia de las bacterias filamentosas, a excepción de *M. parvicella* que en el Muestreo 5 y el Muestreo 12 observemos el incremento de esta bacteria debido a las características que posee, ya que a bajas condiciones de oxígeno por la poca oxigenación en el flóco aumenta este tipo de bacteria en condiciones bajas de sólidos suspendidos totales.

10.6.6 Relación de Bacterias Filamentosas con el alimento

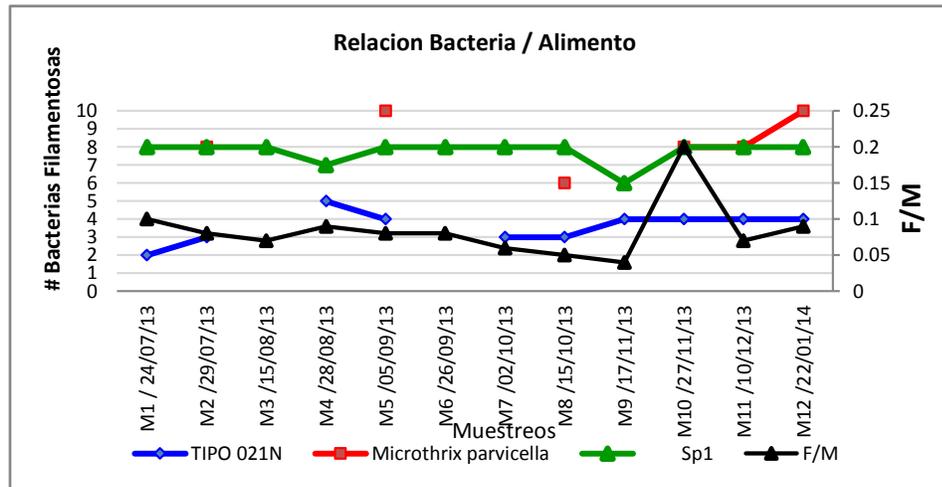


Grafico 16. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la cantidad de alimento para las bacterias

La relación alimento microorganismo no es más que la cantidad de alimento que las bacterias consumen por día. Este parámetro nos muestra el comportamiento de las bacterias y su consumo durante el periodo de estudio dando como resultado en la gráfica que se mantuvo en proporciones pequeñas y no hubo variación lo que significa que no hay exceso de lodo en el tanque por lo que no se forma espuma.

10.6.7 Relación de Bacterias Filamentosas con el Índice de Volumen de Lodos

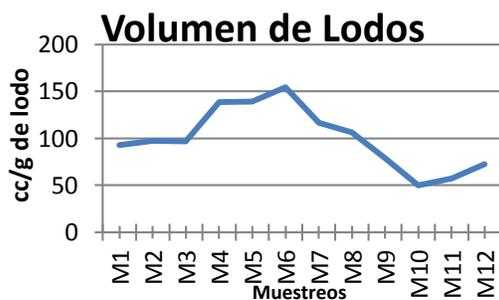
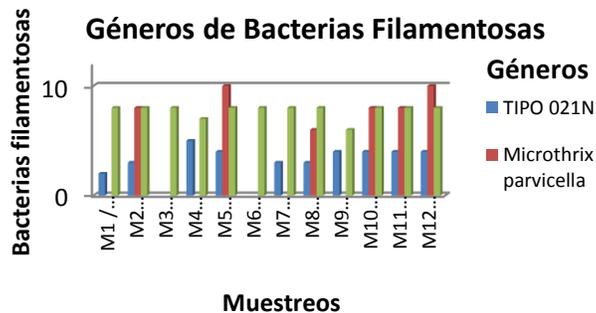


Grafico 17. Relación del número de bacterias filamentosas con respecto al índice de volumen de lodos dentro tanque de lodos activado



Este comportamiento que muestra la gráfica es como se relaciona el volumen de lodos dentro del tanque y la interacción entre las bacterias filamentosas y su efecto en la formación del flóculo. Observemos que *M. parvicella* y Sp1 son las especies más dominantes dentro del tanque pero Sp1 en este caso es la que afecta en mayor proporción el desarrollo de los lodos activos y el tipo 021N es el que disminuye lo que significa que los flóculos en este periodo de tiempo estuvieron estables.

10.6.8 Relación de Bacterias Filamentosas con la Oxidación

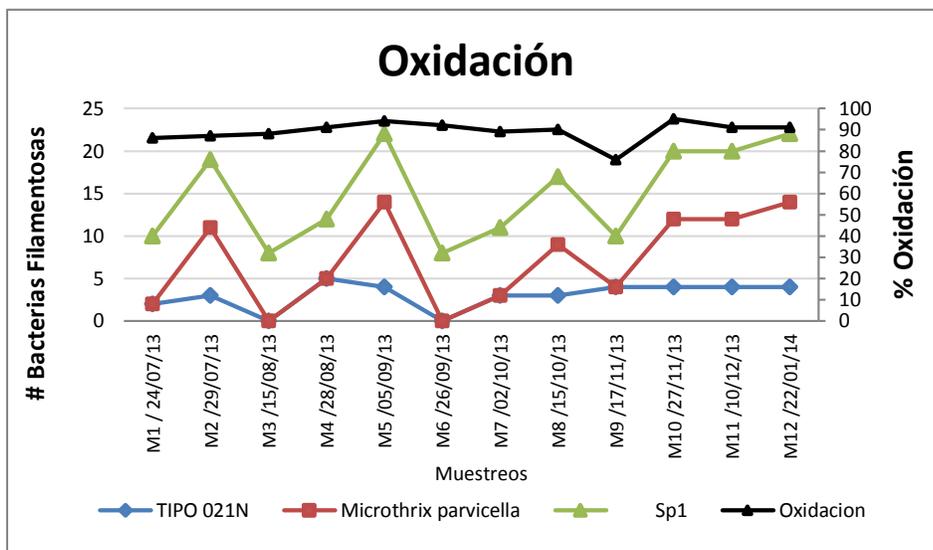


Grafico 18. Relación de las bacterias filamentosas con respecto a la oxidación dentro tanque de lodos activados.

Relación de las bacterias filamentosas con la oxidación, esto quiere decir cuánto es la degradación de materia orgánica de sólidos suspendidos a sólidos disueltos y observamos en la gráfica este comportamiento donde la Sp1 es la que más transforma los sólidos disueltos en sólidos suspendidos, seguida de *M. parvicella* junto con los otros microorganismos donde son las bacterias que oxidaron la materia biológica durante el periodo de estudio.

11. RESULTADOS

Para el tratamiento biológico de los lodos activados el valor de PH en el reactor permite la realización óptima de los procesos microbianos. La eliminación de nutrientes depende del valor de PH. El intervalo de PH óptimo para las bacterias y los microorganismos acuáticos es entre 6 a 8.5 para nuestros resultados de acuerdo a la tabla 2, el PH dentro de la oxidación fue de 7.5 a 8.5, la estabilización del reactor permitió alcanzar estos valores recomendados para este estudio, la relación del PH con las bacterias de acuerdo a la gráfica 13, *Microthrix parvicella*, tuvo un aumento en unos muestreos lo que significa que el PH para este tipo de bacteria es óptimo y crece en esas condiciones favorables, mientras que la bacteria Sp1 se mantuvo el potencial de iones de hidrógeno en el ciclo de vida y el Tipo 021N no influyó en su crecimiento.

El índice de Volumen de Lodos es la prueba de la Sedimentabilidad que nos dice cómo trabajan las bacterias en el reactor aerobio en presencia con los microorganismos y va a depender de como sea la Sedimentabilidad en el tanque y la forma de indicarnos que el proceso está trabajando con una buena relación F/M, alimento microorganismos, por otra parte el IVL se relaciona mucho con el crecimiento de las filamentosas ya que puede variar de acuerdo al desarrollo de estas presentes en los lodos, para nuestro estudio de acuerdo a la tabla 3, donde IVL se mantuvo en el límite menor de 150 cc/g mientras que la F/M se mantuvo en un rango de 0.08 kg/ día, pero en presencia de las bacterias filamentosas el IVL para la bacteria Sp1 fue más abundante, este parámetro en presencia de este tipo de bacteria, esto lo podemos apreciar en la gráfica 18, donde se visualiza el crecimiento de la Sp1 lo que significa que el lodo es propio para su desarrollo y como es la bacteria más abundante en el reactor y propia de esta planta las condiciones le favorecen, mientras que Tipo 021N, solo hay presencia de ella y no aumentó durante el estudio.

La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro ambiental que dice la medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos a una temperatura de 20 +/-°C, pero la relación con las bacterias la Sp1 fue muy estable ya que es la más abundante y por ende es la bacteria que reduce la biodegradación de la materia orgánica en un

periodo de cinco días, por otro lado este dato puede variar dependiendo de la disposición de la carga del lodo. Si la carga de DBO5 se incrementa significativamente, entonces habrá demasiado alimento para los microorganismos pero durante este periodo de estudio se mantuvo estable.

La demanda química de oxígeno es un parámetro determinante en el proceso de lodos activados ya que este parámetro es indicativo para los demás, porque a través de este se mide la materia orgánica que se degrada en el tanque de lodos en presencia de oxígeno, y un aumento de DQO en los lodos ocasionará que la relación F/M aumente, en otras palabras, si la cantidad de alimento es demasiada en comparación con los microorganismos, esos estarán imposibilitados para degradar y los valores de F/M podrían aumentar, Para que exista una buena remoción, de lodo mezclado debe contener una variedad de microorganismos capaces de metabolizar las sustancias presentes en el agua residual así, como un balance nutricional adecuado para que los microorganismos cumplan su función depuradora.

De acuerdo a la gráfica 14, la relación de las bacterias filamentosas con la Demanda Química de Oxígeno nos muestra el comportamiento de la DQO en presencia de las bacterias filamentosas para cuantificar numéricamente los requerimientos de oxígeno de los organismos en sus procesos metabólicos para degradar la materia orgánica que consumen por día, y se observa que el DQO se mantiene en un rango de 80 mg/l pero en el muestreo numero 5 hubo una DQO baja de 43 mg/L lo que significa que hubo un incremento de *Microtrix parvicella* y eso nos dice que este tipo de bacteria aumenta al disminuir la DQO en el reactor aerobio, lo que nos quiere decir que el IVL aumento brevemente en ese punto lo que significa que al haber aumento lodo en el tanque hay menos posibilidades de oxígeno y esto favorece esta bacteria; pero el DQO de la salida de la planta durante el estudio es menor de 100 mg/L lo que significa que cumple con la normativa salvadoreña de descarga al cuerpo receptor.

Los sólidos suspendidos totales son todos los sólidos que están en el agua residual que pueden ser sólidos suspendidos sedimentables y disueltos que pueden ser coloidales

que forman una parte de la biomasa sedimentada que es retornada al tanque de aeración para mantener una concentración deseada de sólidos suspendidos en el licor mezclado y la otra es retirada del sistema como desecho, siendo este lodo, principalmente la materia orgánica que se le ha quitado al agua afluente, los resultados de la Sedimentabilidad en el cono son necesarias para determinar cambios que se pudieran requerir en el caudal de la entrada y salida. Los resultados en el lodo de desecho y el total de sólidos en el sistema, así como los SST en el efluente secundario, son necesarios para calcular la cantidad de lodo que deberá desecharse, observemos la gráfica 16 los sólidos suspendidos favorecieron el crecimiento de *M. parvicella* en dos muestreos lo que significa que aumenta en condiciones bajas de sólidos.

La oxidación es la que maneja la planta de la parte biológica lo que significa que el rendimiento de la oxidación y su eficiencia optimizan el funcionamiento del tanque de lodos transformando todos los sólidos disueltos en sólidos suspendidos con la ayuda de las bacterias filamentosas que son las más abundantes en el reactor junto con los microorganismos que son los degradadores del tanque, ver grafica 19 la oxidación biológica es mantener las bacterias en condiciones para vivir, comer y reproducirse, manteniendo el lodo adecuado en el tanque, la oxigenación adecuada, manteniendo la temperatura y el nivel de PH óptimo para limpiar las aguas del lodo. Como se observa en la gráfica la relación de las bacterias filamentosas con la oxidación, es eficiente para el reactor para las especies como Sp1 que es la mayor responsable de la degradación de la materia suspendida seguida de *M. parvicella* junto con los otros microorganismos donde son las bacterias que oxidaron la materia biológica durante el periodo de estudio.

Se realizó a este estudio una prueba estadística sobre las mediciones muestrales de los principales parámetros fisicoquímicos, en el reactor aerobio, para verificar el cumplimiento de los estándares permisibles para los parámetros en estudio y se concluyó que las variables en estudio si están bajo la norma salvadoreña para ser descargadas al cuerpo receptor.

12. DISCUSION

Este estudio presentado aquí está basado en la observación microscópica de las bacterias filamentosas y su relación con los parámetros operativos dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales, durante un periodo de estudio de seis meses, la identificación de bacterias no reportadas anteriormente, así como la relación de aparición entre ellas.

Para la identificación de las bacterias filamentosas el proceso se llevó a cabo mediante medios visuales, es decir fotografías tomadas al momento de la evaluación microscópica, las cuales fueron comparadas con fotos reportadas en la literatura según los manuales de Jenkins et al (1993) Eikelboom y Van Buijsen (1983). Cada uno de estos autores ha publicado distintas claves y las han retomado diferentes autores y para este estudio se retomó la literatura del manual llamado "Bacterias Filamentosas en el Fango Activo" de un grupo de investigación llamado Grupo Bioindicación Sevilla (GBS) de la Universidad de Sevilla (Anexo 10).

La formación de los lodos activados provenientes de los reactores tanto aerobio como anaerobio dependen principalmente de las condiciones de crecimiento, organización y el arreglo las todas las poblaciones microbianas, después de analizar las muestras y obtener los resultados obtenidos de este estudio y la observación microscópica de las bacterias filamentosas se pudo identificar las bacterias gracias a la tinción de Gram.

En el año 2008, Wulkop en Venezuela realiza un estudio de monitoreo del crecimiento bacteriano en tanques aireados de lodos activos para el tratamiento de aguas en una planta donde hicieron una evaluación microscópica de bacterias filamentosas dominantes encontradas en la planta de aguas y las relacionaron con parámetros como Temperatura, IVL y el clima dependiendo de las estaciones, para sus resultados obtenidos se ve una clara dominancia de *Microthrix parvicella* a bajas temperaturas al igual que este estudio la misma bacteria tuvo dominancia después de la Sp1 que domina en esta la planta de aguas residuales de tipo cervecero.

Según la literatura de Eckelboom y Van Buijsen, 1998 las bacterias encontradas y documentadas durante el periodo de estudio fueron: *Microthrix parvicella*, Tipo 021N y Sp1 donde la bacteria Sp1 que es propia de este reactor aerobio de origen cervecero y no se encuentra identificada taxonómicamente en la literatura revisada y está ampliamente dispersa en el tanque de lodos seguido de la bacteria *M. parvicella* ya que el ambiente en el que se desarrolla está en condiciones para vivir y reproducirse, por lo que nos dice que son bacterias dominantes en el tanque de lodos. Y por último está la especie del tipo 021N que fue la menos encontradas en el reactor y va depender de las condiciones de operación que tiene el reactor aerobio.

Según los autores de Eckelboom y Van Buijsen, especifican que *Microthrix parvicella*, tiene una gran capacidad de desarrollarse bajo todo tipo de condiciones medioambientales, para este estudio fue la segunda bacteria más dominante dentro del tanque sin embargo en varias muestras no están presentes pero en la que se encuentran podemos decir que la temperatura fue normal mientras que el PH en los muestreos 2, 5, y 8 son altos lo que significa que crecen en ambientes altos de PH de 7.9 a 8.2, según lo reportado por los autores. Pero para la DQO la relación con esta bacteria se observa que hay un incremento en presencia de este parámetro operacional sin embargo se debe mencionar que esta bacteria no aparece en todos los muestreos posiblemente haya sido por el método de toma de la muestra que era compuesta de tres lugares superficiales en el reactor y no estaba presente al momento de ser tomada.

La bacteria Sp1 que fue la especie más presente que se encontró durante los doce muestreos, por las condiciones de operación de la planta de aguas dentro del tanque de lodos que son apropiadas para su supervivencia y desarrollo según los ámbitos de temperatura, PH, DQO, DBO₅ no le afectan en su ciclo de vida, pero difiere en el número encontrado en esta investigación como en la muestra 4 y 9 hay una leve presencia de esta bacteria sin embargo el PH y la Temperatura se mantienen estables, pero la relación de oxidación con esta especie para la muestra 9 fue la más baja lo que significa que posiblemente la oxidación dentro del tanque sea lenta y afectara la presencia en esta bacteria en ese muestreo.

Según la literatura el tipo 021N aparece en casi todos los efluentes en bajas proporciones, sin embargo para esta investigación en los muestreos 3 y 6 no tuvo presencia por lo que podemos decir que la temperatura se mantuvo estable en ambos muestreos, mientras que el PH en ambos muestreos se alteró a 8 lo que significa que el tipo 021N se mantiene con PH menor a 8 por lo que no apareció, contrario a lo que se encontró en esta investigación según lo expuesto por los autores debe aparecer la bacteria en el PH de 6 a 8.5 y para nuestros resultados el PH alto no sobreviven. (GBS.2013)

Finalmente se determinó cada una de las bacterias filamentosas que se encontraron en esta investigación y la más dominante en los lodos activados fue la SP1 seguida de *Microthrix parvicella* y por último el Tipo 021N. Debido a su naturaleza y característica biodegradable del lodo, son las que promueven la oxidación biológica y al estar ausentes presentan graves repercusiones a nivel operacional en el funcionamiento de la planta de tratamiento.

13. CONCLUSIONES

El examen microscópico del lodo para este estudio revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variables de la composición de las aguas residuales y de las condiciones de operación del tanque de lodos, para darnos como resultado microorganismos filamentosos; La *SP1* es la bacteria filamentosa que está más presente en las muestras tomadas y es propia de esta planta de aguas residuales por las condiciones que le brinda el sistema para poder desarrollarse seguida de *Microthrix parvicella* que alcanzó valores altos en los muestreos donde se identificó y por último la bacteria tipo *O21N* que crece en este tipo de aguas residuales industriales.

Al efectuar este estudio de bacterias filamentosas con los parámetros se puede decir que el sistema de recirculación del tanque de lodos activados está trabajando de forma apropiada por los resultados de DQO que se mantiene el rango de 70 a 90 mg/l y la DBO5 de 10 mg/l a 20 mg/l; igual para PH se mantuvo en un rango de 7 a 9 y la Temperatura 30°C a 33 °C al hacer la comparación de los datos obtenidos con la norma salvadoreña CONACYT. 2009 para ser descargada a la quebrada San Antonio si cumple los estándares permitidos.

También se hicieron pruebas estadísticas sobre las mediciones muestrales de los principales parámetros físico-químicos en el reactor aerobio, para verificar el cumplimiento de los estándares permisibles para estos parámetros y se concluyó que los valores medidos para las muestras no sobrepasan una distribución normal y que el límite de buena funcionalidad se debe trabajar siempre en estas pruebas estadísticas.

Finalmente, el crecimiento de bacterias filamentosas en una planta de tratamiento de lodos activados es indicador de un proceso de tratamiento deficiente; su control dependerá de la calidad del efluente, y de las condiciones de operación del sistema de tratamiento y la verificación continua de los microorganismos filamentosos presentes en los sistemas de lodos.

14. RECOMENDACIONES

Para este estudio se utilizó el tipo de muestra compuesta que consiste en tomarla de diferentes lugares y de la superficie del tanque de lodos por lo que no se encontró en los muestreos tomados las mismas bacterias por la forma de la toma de la muestra y se recomienda para posteriores investigaciones se tome en cuenta los diferentes estratos del agua longitudinalmente y latitudinalmente dentro del tanque de lodos.

Realizar más estudios sobre los demás microorganismos en el sistema de lodos para dar a conocer lo que están depurando las aguas cerveceras y utilizarlos como indicativos de la calidad del lodo, para proponer acciones correctivas, y/o observaciones comparativas y cuantificar los microorganismos para conocer las causas y las condiciones de operación que generen proliferación en el sistema de lodos activados.

La planta de tratamiento de aguas residuales de origen cervecero es de tratamiento primario, secundario y terciario pero el tratamiento terciario no es avanzado por lo que el agua no es apta para su consumo si no que es reutilizada en otras áreas como en jardinería, servicios sanitarios enfriamiento de calderas, para otras investigaciones se recomienda investigar el tratamiento terciario.

15. LITERATURA CITADA

- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS. Vol.3 2010. EE.UU
- APHA. 1999. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 20a ed. APHA-AWWA-WEF. Nueva York, EEUU. 1325 pp
- BATRES G. BAIRE M. 1976. Tratamiento de las aguas residuales de un a Fabrica de Aceites y Grasas Comestibles. Facultad de Ingeniería. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. (Trabajo para optar al Título de: Ingeniero Químico. Disponible en: <http://abaco.uca.edu.sv.pdf>. 100pp
- BENDEK J. FONSECA A. SORTO T. 2001. Depuración de las aguas residuales de la industria azucarera mediante un sistema de tratamiento en suelo. Facultad de Ingeniería. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. (Trabajo para optar al Título de: Ingeniero Químico. Disponible en: <http://abaco.uca.edu.sv.pdf>. 136pp
- BITTON, G.2005. Wastewater microbiology, 3ª Edition, New Jersey. Estados Unidos.746pp
- BRADFORD, D., CHRISTENSSON, C., JAKAB, N. AND BLACKALL, L. L. (1998). Molecular biological methods to detect “Microthrix parvicella”and to determine its abundance in activated sludge. En: Water Sci. & Technol.: Microorganisms in Activated Sludge and Biofilm Processes II. Ed. by The Conference Program Committee. (G.B.) BPC Wheaton. 37(4-5), 37 – 45.
- CALVO. P. 2009. Tratamiento avanzado de aguas residuales para riego mediante oxidación con ozono: una alternativa ecológica. CONAMA (Congreso Nacional del Medio Ambiente) volumen 8.20pp.

- CARCELLER J, M. Identificación y control de los microorganismos filamentosos causantes del “bulking” y “foaming” en las EDAR. España. 17 pp.pdf
- Centro Nacional de Ciencia y Tecnología. CONACYT 2008. Norma salvadoreña. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor (en línea), El Salvador. Activo y Disponible en: <http://www.infoq.org.sv/dbnormas/NSO%2013.49.01.09.pdf>
- DIEZ C., VIDAL G. 1999. Evaluación de la toxicidad del EDTA y metal-EDTA en microorganismos de un sistema de lodos activados que trata efluentes de la industria de celulosa.
- DI MARZIO, W. 2004. Manual de microbiología de lodos activados. 1ª ed., Buenos Aires: 53pp
- DI MARZIO, W., SÁENZ, M., TORTORELLI, M., ALBERDI, J. s.a. Control de organismos filamentosos mediante selección cinética y metabólica en sistemas de lodos activados. Universidad Nacional de Luján, Argentina, 11 p.
- ECKENFELDER, W. 2000. Industrial water pollution control. 3ª Edition. McGraw hill, Singapur, 584 p.
- ECKELBOOM, D. H. & VAN BUIJSEN, H. J. J. 1998. Microscopic sludge investigation manual. Holanda.
- EMONDI, V.2011. Manual de Biología de plantas de tratamiento de aguas residuales. Centro de Control de Calidad Industrial.CCI. El Salvador. 61pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 2007. Natural resource aspects of sustainable development in El Salvador. disponible en : www.fao.org.sv.
- FERNÁNDEZ A., GARCÍA P., MIRIAM D., SUSANA V., JUANA S. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Informe de vigilancia tecnológica. Universidad de Alcalá del Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía.2006. Disponible en:

[www.madrimasd.org/vt2 tratamientos avanzados de aguas residuales industriales.pdf](http://www.madrimasd.org/vt2_tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf).

- FONTE A., MARTINEZ N., MONTALVO S. 2000. Caracterización y tratamiento de residuales líquidos en una fábrica de cerveza. Universidad de Camaguey, Cuba.
- GÁLVEZ R. HERNÁNDEZ L. PICHINTE D. 2004. Diagnóstico del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas en el área metropolitana de San Salvador construidas desde 1990. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de El Salvador. (Trabajo de graduación para optar al grado de Licenciado en Ingeniero Civil). 370pp.
- GBS. Manual de Procedimientos para la Identificación de Bacterias Filamentosas. Grupo Bioindicacion Sevilla.2013. Universidad de Barcelona. España.28 pp
- GRUPO SEVILLA. 2011. Manual de trabajo para Análisis Biológicos en fangos Activados. Jornada de Transferencia de Tecnología sobre “Ejercicios interlaboratorios en fangos activos como sistema de control en la EDAR”.183pp
- GUALPA S. 2007. Técnicas de Tinción para la Microscopia Óptica, Laboratorio de Microbiología, Departamento de publicaciones de la Facultad de Ciencias Médicas, Quito Ecuador, Disponible en: [http://www.slideshare.net/la-tincion de Gram](http://www.slideshare.net/la-tincion-de-Gram)
- JENKINS, D., RICHARD, M. G.; DAIGGER, G. T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. 1ª Edición. Lewis Publishers, Nueva York, 193 p.
- JENKINS, D. RICHARD, M. G. Y DAIGGER, G. T. (1993). Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming. 2ª. ed. Lewis Publishers. USA.193 p
- LENNTECH. Agua residual & purificación del aire Holding B.V. Rotterdamseweg, HH Delft, Holanda, 1998-2008.

- Libro de tratamiento de aguas residuales industriales avanzadas. 2011. Disponible en:http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Evaluación de la operación, mantenimiento y mejoramiento plantas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala, El Salvador y Honduras. Informe del estado del medio ambiente de El Salvador.176pp.
- MORA A., CHÁVEZ C., FONSECA G., CABRA J., CARMONA Y. 2005. Desarrollo de un inóculo microbiano empleando lodos activados para la remoción de ácido sulfhídrico mediante biofiltración. Revista colombiana de biotecnología. 25pp
- METCALF & EDDY. 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Editorial McGraw Hill, México. Tomos 1 y 2. 1559 p.
- METCALF & EDDY, 1991 (a). Aspectos sobre la reutilización planificada de agua residual regenerada. Disponible: <http://mie.esab.upc.es/arr/T2E.htm>.
- METCALF Y EDDY. (1991) (b). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse: Third Edition. McGraw-Hill, Inc.: New York.
- NERY M. 2004. Determinación de la remoción de materia orgánica de tres plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Ayutuxtepeque en el salvador. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador. (Trabajo para optar al Título de: Máster en Gestión Ambiental) 121pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura UNESCO .2012 Informe Mundial sobre la Amenaza de los Recursos Hídricos en el mundo. Disponible en : <http://www.unesco.org.pdf>
- PACHECO, V.F; JAUREGUI, R. B.; PAVÓN, T. B.; MEJÍA, G. 2003. Control del crecimiento de microorganismos filamentosos en una planta de tratamiento de aguas residuales industriales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental,

año/vol. 19, número 01. Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, pp 47-53

- PROYECT CONCERN INTERNATIONAL, 2004. Estado Situacional del Medio ambiente y Recursos Naturales de El Salvador. Estudio Técnico N° 1. Gobernabilidad ambiental para el Desarrollo sostenible de El Salvador. 146pp. Consultado 10/10/2011
- RAMALHO, S. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté, México, 705 p.
- REYNOLDS, KELLY A. Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema, A G U A L A T I N O A M É R I C A septiembre/octubre 2002.
- RICHARD, M. 1991. Activated sludge microbiology. The Water Pollution Control Federation, Virginia, 73 p.
- RICHARD, M. 2003. Activated sludge microbiology problems and their control. Colorado, 21 p.
- RINCONES M, PEREYRA E, BLANCO H. 2001. Sistema de Lodos activados a escala laboratorio para el tratamiento de efluentes de una industria papelera. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. Disponible en: www.bvsde.paho.org/aresidua/mexico.pdf
- RODRÍGUEZ, E., ISAC, L., FERNÁNDEZ, N.Y SALAZAR, M.D. (2004).Manual de trabajo para Análisis Biológicos en fangos Activados. Jornada de Transferencia de Tecnología sobre “Ejercicios interlaboratorios en fangos activos como sistema de control en la EDAR”. SEVILLA. Octubre de2005- 2011. 183pp.
- RONALD CAMPOS. 2005. Informe técnico: Evaluación de la operación, mantenimiento y mejoramiento plantas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala, El Salvador y Honduras.43pp.pdf

- Rossetti, S., Tomei, M. C., Nielsen, P. H y Tandoi, V. (2005) " *Microthix parvicella* " , a Filamentous bacterium bulking and foaming in active sludge systems: a review of current knowledge. FEMS Microbiology Reviews 29,49-69.
- . SEPÚLVEDA, L. (2011) Tecnología en uso de aguas residuales y su contribución al saneamiento ambiental en el mundo. Colombia. Disponible en : www.uninorte.edu.co/extensiones.Ponencias/Pon_Fulbright/Riohacha,Fulbright/TECNOLOGIASENUSODEAGUASRESIDUALES.pdf
- The Brewers of Europea. 2002. Confederación de Industrias de Alimentación y Bebidas de la UE. 2002. Disponible en: www.cerveceros.org/pdf/CBMCguidance-note.pdf
- TONGCHAI S., SIRIPRAPHA J. 2007. Evaluation of waste activated sludge as a coagulant aid for the treatment of industrial wastewater containing mixed surfactants. Journal of Environmental Science and Health. 44, 507–514.
- VARGAS A. 2009. Dinámica y distribución de comunidades bacterianas en dos biorreactores de lodos activados en plantas de tratamiento de aguas residuales industriales. Tesis de grado de Maestro en Ciencias en Biología. Universidad de Puerto Rico.
- VARGAS B., RAMOS J., MANZANERO, L. RINCONES M. 1992. Estudio de las comunidades bacterianas en un sistema de lodos activados. Revista Ecotrópicos, vol. 5(2): 1-10.
- VILASECA, M. 2001. Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica. Universidad Politécnica de Catalunya, 6 p.
- VILASECA M., J., HERNÁNDEZ, J. 1989. Identificación taxonómica de las bacterias propias de los fangos activados en una depuradora piloto de agua residual textil. Universidad Politécnica de Catalunya, 12 p.

- VON NORDESKJOLD. Waste Water Treatment Plant Manual of Process SAB-MILLER Brewery El Salvador. Doc. 2009 Industrias la constancia. El Salvador.
- YABROUDI S., ALMARZA J., PEDRIQUE F., CÁRDENAS C., HERRERA L. 2009. Optimización del proceso De tratamiento de aguas residuales De una industria cervecera. Revista de Ciencia y Tecnología de América. Vol. 34, Nº 11. Disponible en: http://www.interciencia.org/v34_11/764.pdf.

16. ANEXOS

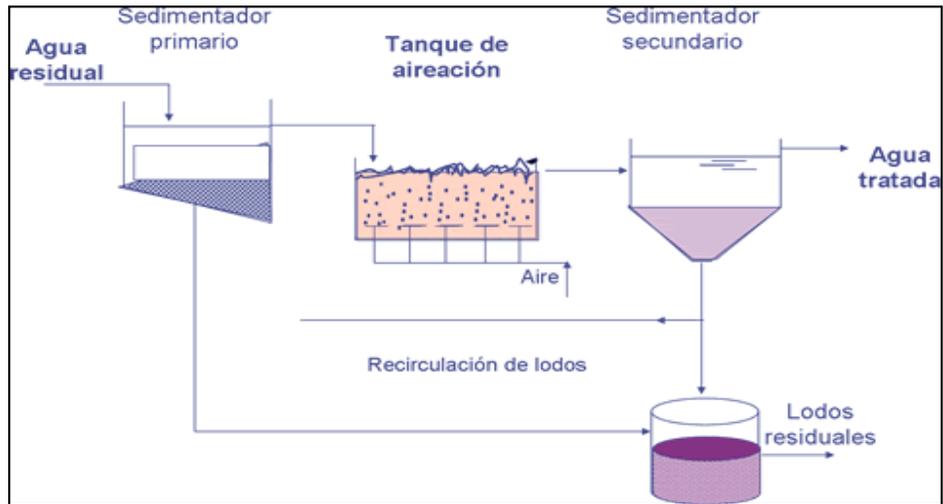
Anexo 2. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor para industrias de bebidas de malta (CONACYT 2009)

DQO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)
800	260	30	100	30

Anexo 3. Ecuaciones químicas de la oxidación y síntesis del reactor aeróbico (Metcalf & Eddy, B, 1991).

Oxidación:
$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{Bacterias} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 + \text{otros productos finales} + \text{energía.}$ <p>(Materia orgánica) (Nuevas células bact.)</p>
Síntesis:
$\text{COHNS} + \text{O}_2 + \text{Bacterias} + \text{energía} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2.$
Respiración endógena:
$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 5\text{O}_2 \rightarrow 5\text{CO}_2 + \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}.$ <p>(Células)</p>

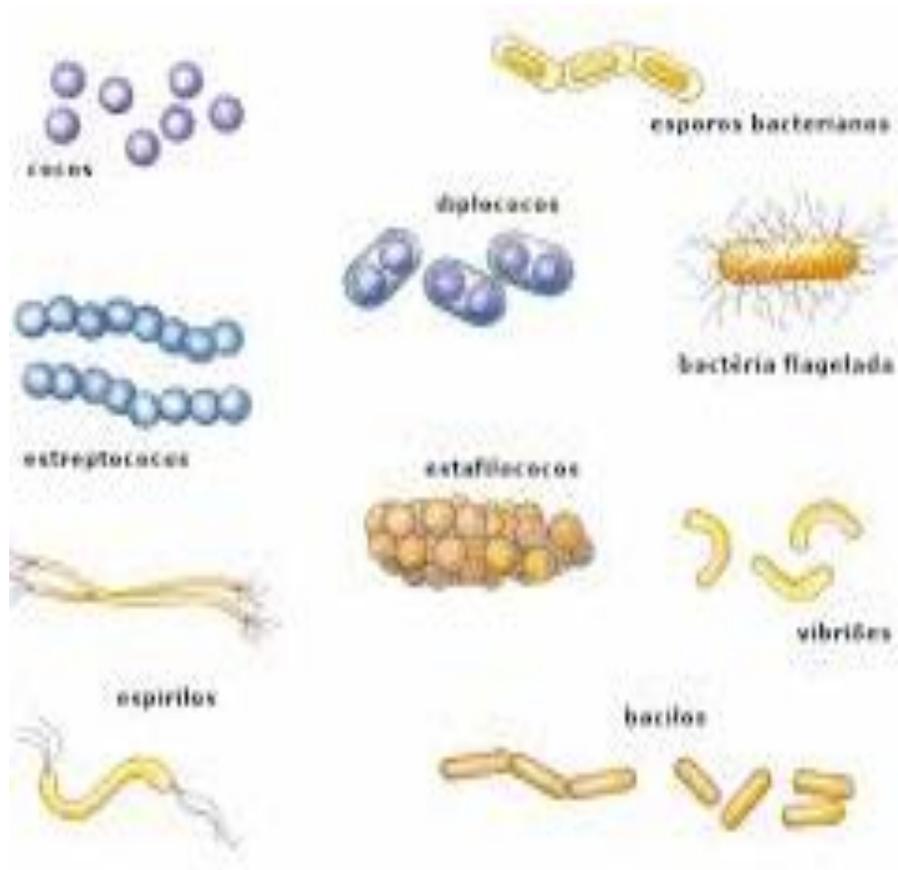
Anexo 4. Esquema típico de un reactor aerobio en el proceso de lodos activados.



Anexo 5. Causas del crecimiento de filamentosas en los lodos activados. (Richard 2003)

Causas	Organismos Filamentosos
1. Baja concentración de oxígeno disuelto	<i>Sphaerotilus natans</i> , Tipo 1701, <i>Haliscomenobacter hydrossis</i>
2. Baja relación F/M	Tipo 0041, Tipo 0675, Tipo 1851, Tipo 0803
3. Septicidad	Tipo 021N, <i>Thiothrix I y II</i> , <i>Nostocoida limicola I,II,III</i> , Tipo 0914, Tipo 0411, Tipo 0961, Tipo 0581, Tipo 0092
4. Grasas y aceites	<i>Nocardia spp.</i> , <i>Microthrix parvicella</i> , Tipo 1863
5. Deficiencia de nutrientes	
Nitrógeno	Tipo 021N <i>Thiothrix I y II</i>
Fósforo	<i>Nostocoida limicola III</i> , <i>Haliscomenobacter hydrossis</i> , <i>Sphaerotilus natans</i>
6. Bajo pH	Hongos

Anexo 6. Agrupaciones bacterianas



Anexo 7. TINCIÓN DE GRAM (MÉTODO HÜCKER MODIFICADO)

Aquí se describe detalladamente el proceso de la tinción de Gram para la identificación de las bacterias filamentosas del Fango Activo de la planta de aguas residuales cerveceras.

TINCIÓN DE GRAM (MÉTODO HÜCKER MODIFICADO)			
	<u>Solución I</u>	<u>Solución II</u>	<u>Solución III</u>
REACTIVOS	Cristal violeta	Lugol – Iodo	(Safranina)
	Oxalato amónico (A+B)	Mantener en oscuridad y frasco ámbar un máximo de un mes)	
SOLUCIÓN A	Cristal violeta 2 gr		Safranina 0.25 g
	Etanol 95% 20 mL		Alcohol etílico 95% 10 mL
			Agua destilada 1000 mL
SOLUCIÓN B	Oxalato amónico 0,8 gr		
	H2O destilada 80 mL		

Anexo 9. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

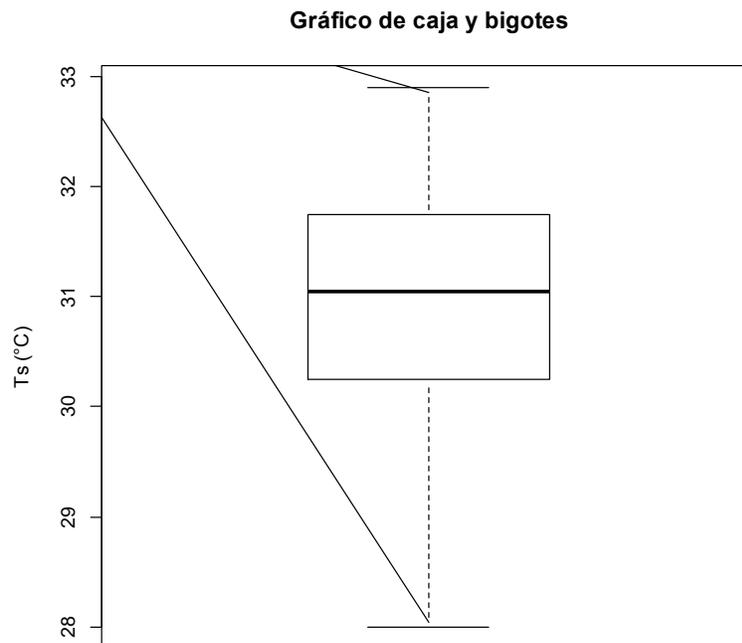
```
#####  
# TRABAJO DE GRADUACIÓN: #  
# CARACTERIZACION DE BACTERIAS FILAMENTOSAS EN EL FUNCIONAMIENTO DE #  
# UN REACTOR AEROBIO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES #  
# DE ORIGEN CERVECERO. #  
#####  
# PRESENTADO POR: Br. María Leonor Pérez #  
#####  
# Noviembre de 2015. #  
#####  
# PRUEBAS ESTADÍSTICAS SOBRE LAS MEDICIONES MUESTRALES DE LOS PRINCIPALES #  
# PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, EN EL REACTOR AEROBIO, PARA VERIFICAR EL #  
# CUMPLIMIENTO DE LOS ESTÁNDARES PERMISIBLES PARA ESTOS PARÁMETROS. #  
#####  
# Software utilizado: R versión 3.1.3 #  
#####
```

1. Análisis estadístico de la variable:

Ts = Temperatura de salida en °C del reactor aerobio

```
Ts <- c(32.9,32.7,31.4,31.8,31,30,31.7,30.4,31.1,30.8,30.1,28); Ts
```

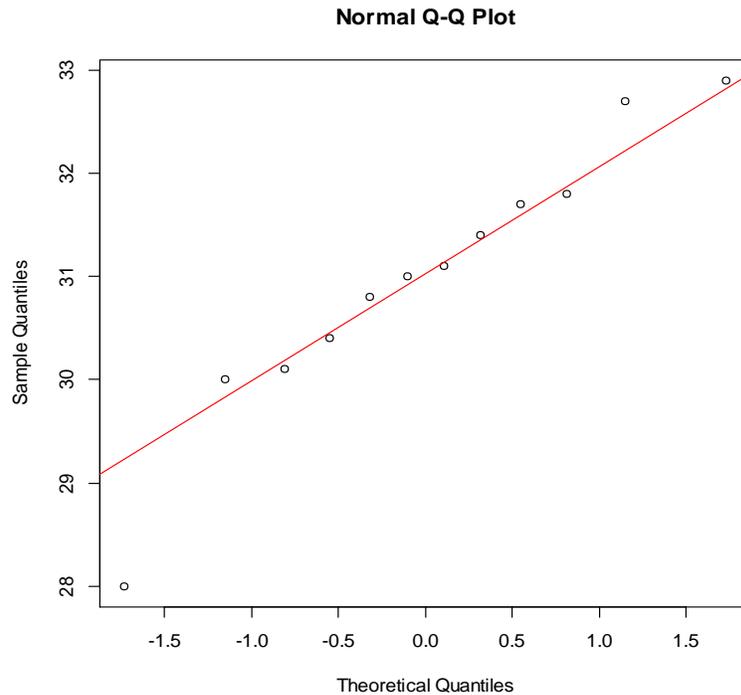
1.1 Gráfico exploratorio de los datos muestrales.



Conclusión: El gráfico no muestra la existencia de datos atípicos o anómalos, se observa que la distribución de los datos es asimétrica hacia la izquierda (bigote izquierdo más largo que el derecho).

1.2 Prueba de normalidad de los datos muestrales.

Gráfico QQ normal de los cuartiles teóricos contra los cuartiles muestrales.



Observe que casi todos los puntos están muy cerca de una línea recta (excepto uno), por lo que podemos concluir que los valores medidos provienen aproximadamente de una distribución normal.

1.3 Prueba estadística de la normalidad de los datos

i) Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significación $\alpha=0.05$

Formulación de las hipótesis

Ho: Los valores observados provienen de una normal $N(\mu, s)$

H1: Los valores observados no provienen de una normal $N(\mu, s)$

Prueba o contraste de hipótesis.

Two-sample Kolmogorov-Smirnov test

data: Ts and valores.Supuestos

$D^* = 1$, p-value = 0.1578

alternative hypothesis: the CDF of x lies below that of y

Conclusión:

Como el p-value $> \alpha=0.05$ entonces aceptamos Ho que las mediciones observadas aproximadamente provienen de una distribución normal.

1.4 Prueba de cumplimiento del estándar para la Temperatura de salida (34 °C)

Formulación de las hipótesis

Ho: $\mu \geq 34$ °C

H1: $\mu < 34$ °C

Prueba o contraste de hipótesis.

Como no se conoce la desviación estándar poblacional Sigma, la distribución de la media se aproxima a través de una distribución t-Student's

One Sample t-test

```
data: Ts
t = -7.9274, df = 11, p-value = 3.561e-06
alternative hypothesis: true mean is less than 34
95 percent confidence interval:
 -Inf 31.67318
sample estimates:
mean of x
 30.99167
```

Conclusión:

Como el $p\text{-value} < \alpha = 0.05$ entonces rechazamos H_0 y aceptamos H_1 , podemos esperar que este proceso produzca medidas promedio de Temperatura de salida menores de 34°C en cualquier muestra.

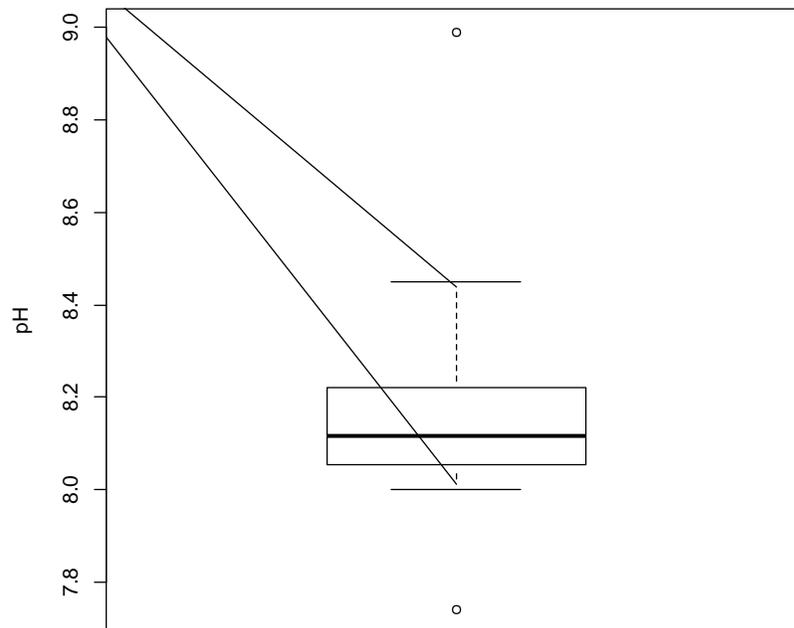
2. Análisis estadístico de la variable:

pH = Potencial de iones hidrogeno de salida del reactor aerobio

`pHs <- c(8.22,8.05,8.17,8.06,8.45,8.13,8.07,8.10,8.0,8.99,8.22,7.74)`

2.1 Gráfico exploratorio de los datos muestrales.

Gráfico de caja y bigotes

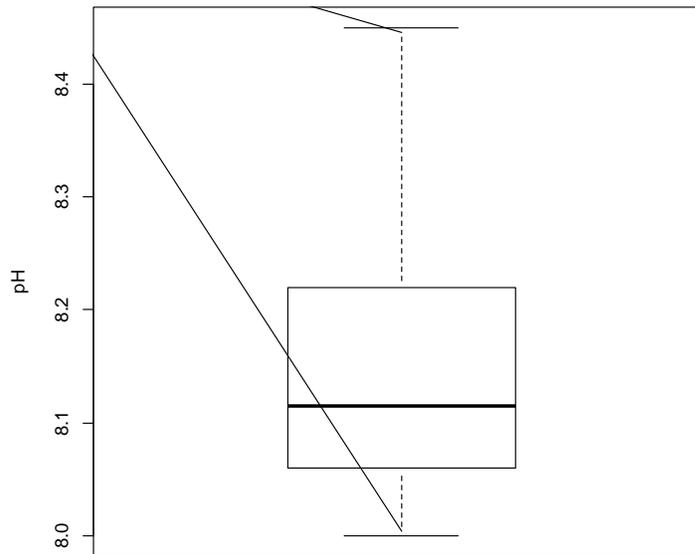


Conclusión:

Hay dos datos atípicos, podemos sustituirlos por un promedio de los 10 restantes o no considerarlos.

`pHs <- c(8.22,8.05,8.17,8.06,8.45,8.13,8.07,8.10,8.0,8.22)`

Gráfico de caja y bigotes



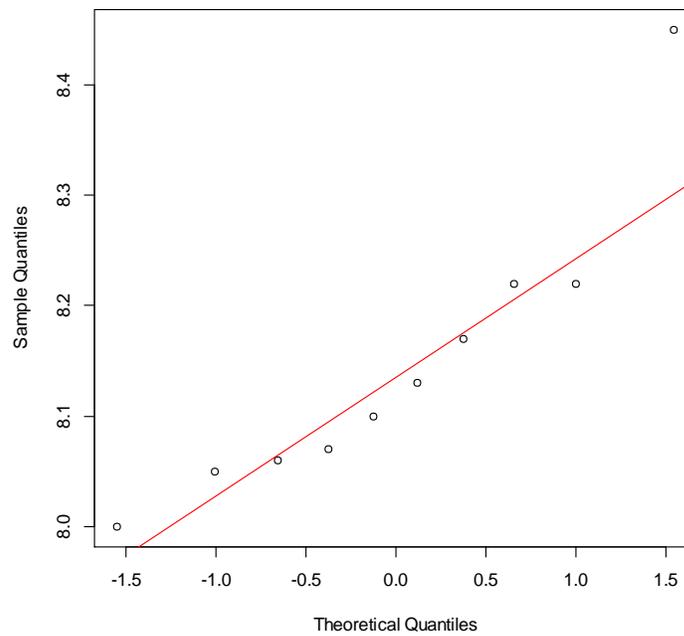
Conclusión:

Observe que ya no hay atípicos o anómalos.

2.2 Prueba de normalidad de los datos muestrales

Gráfico QQ normal de los cuartiles teóricos contra los cuartiles muestrales.

Normal Q-Q Plot



Observe que casi todos los puntos están muy cerca de una línea recta (excepto uno), por lo que podemos concluir que los valores medidos provienen aproximadamente de una distribución normal.

2.3 Prueba de cumplimiento del estándar para el pH de salida (< 8.5)

Formulación de las hipótesis

Ho: $\mu \geq 8.5$

H1: $\mu < 8.5$

Prueba o contraste de hipótesis.

Como no se conoce la desviación estándar poblacional Sigma, la distribución de la media se aproxima a través de una distribución t-Student's

One Sample t-test

```
data: pHs
t = -8.6464, df = 9, p-value = 5.918e-06
alternative hypothesis: true mean is less than 8.5
95 percent confidence interval:
 -Inf 8.221839
sample estimates:
mean of x
 8.147
```

Conclusión:

Como el p-valor < $\alpha=0.05$ entonces rechazamos Ho y aceptamos H1, podemos esperar que este proceso produzca medidas promedio de pH de salida menores de 8.5 en cualquier muestra.

3. Análisis estadístico de la variable:

Tss = sólidos suspendidos totales en la oxidación (g/l)

Tss <- c(3.78,4.61,5.17,5.41,5.21,5.5,5.14,6.0,5.73,6.01,6.13,4.97); Tss

3.1 Gráfico exploratorio de los datos muestrales.

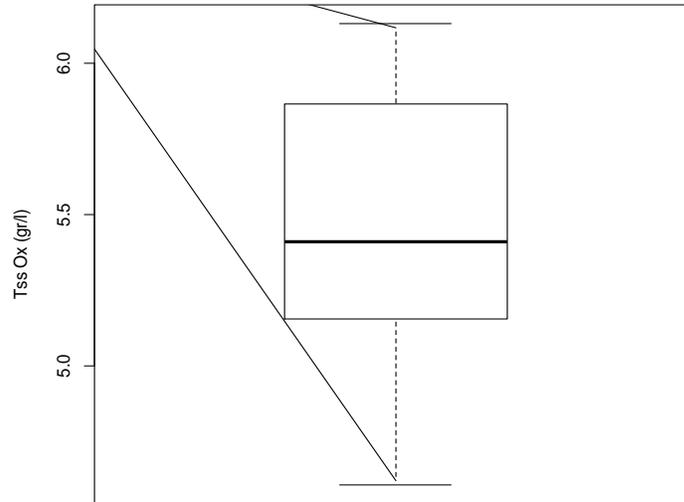


Conclusión:

Hay un dato atípico, podemos sustituirlos por un promedio de los 11 restantes o no considerarlo.

Tss <- c(4.61,5.17,5.41,5.21,5.5,5.14,6.0,5.73,6.01,6.13,4.97); T

Gráfico de caja y bigotes



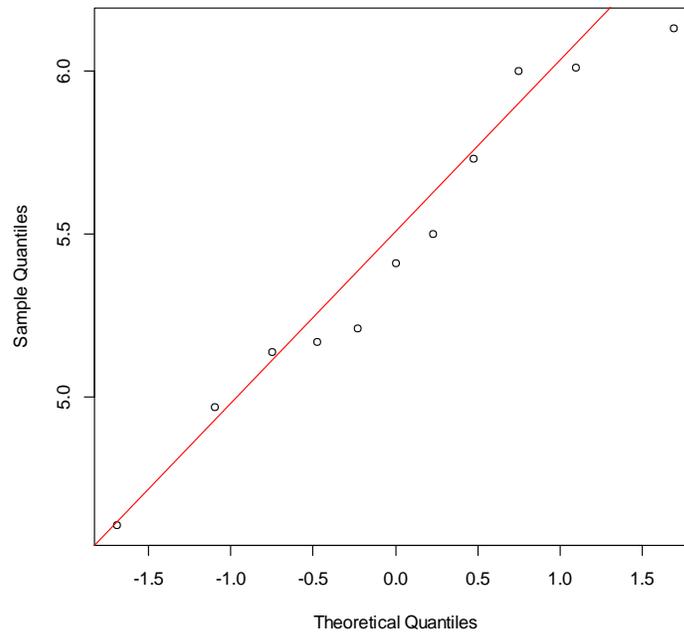
Conclusión:

Observe que ya no hay atípicos o anómalos.

3.2 Prueba de normalidad de los datos muestrales.

Gráfico QQ normal de los cuartiles teóricos contra los cuartiles muestrales.

Normal Q-Q Plot



Observe que casi todos los puntos están muy cerca de una línea recta, por lo que podemos concluir que los valores medidos provienen aproximadamente de una distribución normal.

3.3 Prueba de cumplimiento del estándar de sólidos suspendidos totales en la oxidación Tss Ox (< 6.0 gr/l).

Formulación de las hipótesis

Ho: $\mu \geq 6.0$

H1: $\mu < 6.0$

Prueba o contraste de hipótesis.

Como no se conoce la desviación estándar poblacional Sigma, la distribución de la media se aproxima a través de una distribución t-Student's

One Sample t-test

```
data: Tss
t = -3.8239, df = 10, p-value = 0.001676
alternative hypothesis: true mean is less than 6
95 percent confidence interval:
  -Inf 5.707345
sample estimates:
mean of x
  5.443636
```

Conclusión:

Como el p-valor < $\alpha=0.05$ entonces rechazamos Ho y aceptamos H1, podemos esperar que este proceso produzca medidas promedio de Tss Oxidación menores de 6.0 en cualquier muestra.

17. GLOSARIO

Agua Residual: Son consecuencia de nuestra actividad tanto a nivel doméstico y urbano, como a nivel industrial y también lluvias a nivel doméstico y urbano, como a nivel industrial y también lluvias.

Agentes tenso activos: son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases, formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua y que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual.

Aerobios o aeróbicos: se denomina así a los organismos que pueden vivir o desarrollarse en presencia de oxígeno diatómico, mientras que si lo necesitan se denominan aerobios estrictos

Anaerobios o anaeróbicos: son los que no utilizan oxígeno (O_2) en su metabolismo, más exactamente que el aceptor final de electrones es otra sustancia diferente del oxígeno

Calidad del agua: Es el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del agua

Contaminación del agua: Incorporación al agua de materias extrañas como productos químicos, residuos industriales y de otros tipos. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para estabilizar la materia orgánica presente en un tiempo y a una temperatura determinada. A sí mismo es la medida del oxígeno disuelto usado por los microorganismos en la oxidación de la materia orgánica.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5): medida de la cantidad de oxígeno utilizada por las bacterias en la degradación de materia orgánica en una muestra de agua residual durante cinco días.

Demanda química de oxígeno (DQO): prueba química rápida para medir el oxígeno equivalente del contenido de materia orgánica del agua residual que es susceptible de oxidación por un producto químico fuerte.

Depuración de aguas: reciben este nombre los distintos procesos implicados en la extracción, tratamiento y control sanitario de los productos de desecho arrastrados por el agua y procedentes de viviendas e industrias.

Metanógenas: conocidas como bacterias metanogenas son Bacterias que producen principalmente metano durante la conversión de los productos finales de la fermentación.

Nitrificación: es el proceso a través del cual las bacterias nitrificantes transforman el amonio en nitrato. Tiene dos pasos distintos para que esto suceda: Las Nitrosomonas sp. Oxidan el amonio en un producto intermedio, el nitrito. Y Nitrobacter sp. transforman el nitrito en nitrato. Las bacterias nitrificantes se consideran bacterias autótrofas, o bacterias que utilizan el CO₂ como fuente de carbono para su crecimiento

Quimio heterótrofo: son aquellos individuo que tiene como fuente de energía las reacciones y, como fuente de C, la materia orgánica.

Sólidos totales: Todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la "carga de sólidos". Pueden ser de naturaleza orgánica y/o inorgánica. Proviene de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales.

Tratamientos Biológicos: Conjunto de tratamientos de las aguas residuales contaminadas basados en la descomposición de la materia orgánica por organismos vivos, produciendo compuestos de menor poder contaminante. Reciben también el nombre de tratamientos secundarios.