

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y
Biotechnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería Biotechnológica



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE
LANA DE OVEJA EN LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE UN
SISTEMA COMBINADO DE REACTORES ANAEROBIO/AEROBIO”**

Tesis Presentada por el Bachiller:

Enriquez Fernández, Paulo Cesar

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Biotechnólogo

Asesor:

Ing. Barreda del Carpio, Jaime Ernesto

Arequipa-Perú

2018

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTA MARIA
y Biotecnológicas
Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica

Expediente N°. 2017000002938
N° Trámite en Fac. 324-2017
Fecha Recep. Fac. 16-01-2017

FORMATO UNICO PARA TRAMITACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

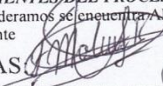

DE: **ENRIQUEZ FERNANDEZ, Paulo César**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO BIOTECNOLOGO

"TRATAMIENTO ANAEROBIO-AEROBIO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESAMIENTO DEL LAVADO DE LANA DE OVEJA PROCEDENTE DE LA INDUSTRIA TEXTIL"

DICTAMINADORES: 1) *Mgter. Fredy Molina Rodríguez* 2) *Ing. Cinthia Córdova Barrios*

DICTAMEN DE PLAN: Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, en atención a su designación, el Jurado Dictaminador del Plan de Tesis informa que, hechas las observaciones y subsanadas las correcciones, sugerimos que el título debe cambiar a: **"TRATAMIENTO ANAEROBIO-AEROBIO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESAMIENTO DEL LAVADO DE LANA DE OVEJA EN LA INDUSTRIA TEXTIL"** después de lo cual consideramos conveniente APTO para continuar con el trámite de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad.

FIRMAS   (Devolver antes de 8 días hábiles) FECHA *03.04.16*

ASESOR: *Mgter. Jaime Barreda del Carpio*

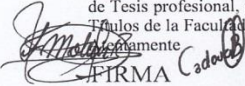
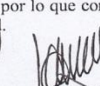

DICTAMEN ASESORÍA: Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, en atención a su designación como asesor del trabajo de investigación presentado por la recurrente, tengo a bien informar que luego de verificado el cumplimiento de los objetivos y la redacción del informe con los resultados, discusión y conclusiones correspondientes y debiendo cambiar el título a: **"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE LANA DE OVEJA EN LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO DE REACTORES ANAEROBIO/AEROBIO"**, considero que el presente trabajo está APTO para continuar con el trámite, en conformidad al Reglamento de Grados y Títulos de nuestra Facultad.

FIRMA  FECHA *16/04/18*

DICTAMINADORES BORRADOR DE TESIS:

- 1) *Dr. José Villanueva Salas* 3) *Dr. Fredy Molina Rodríguez*
2) *Ing. Cinthia Córdova Barrios*

DICTAMEN FINAL: Señor Decano de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, atendiendo a su designación como Dictaminadores del presente Borrador de Tesis sugiriendo se cambie el título a: **"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LAVADO DE LANA DE OVEJA EN LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO DE REACTORES ANAEROBIO/AEROBIO"**, y luego de hechas las observaciones y correcciones pertinentes, cumpliendo con las exigencias mínimas establecidas para un trabajo de investigación de Tesis profesional, por lo que consideramos APTO para continuar con los trámites estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad.

FIRMAS    (Devolver antes de 15 días hábiles) FECHA *08/05/18*

JURADOS: PRESIDENTE *DR. JOSÉ VILLANUEVA SALAS*
VOCAL *ING. CINTHIA CORDOVA BARRIOS*
SECRETARIO *DR. FREDY MOLINA RODRIGUEZ*

FECHA *18/05/18* HORA *19.00* LOCAL *SUNC-402*

FIRMA DEL DECANO  FECHA *14/05/18*

Dedicatoria

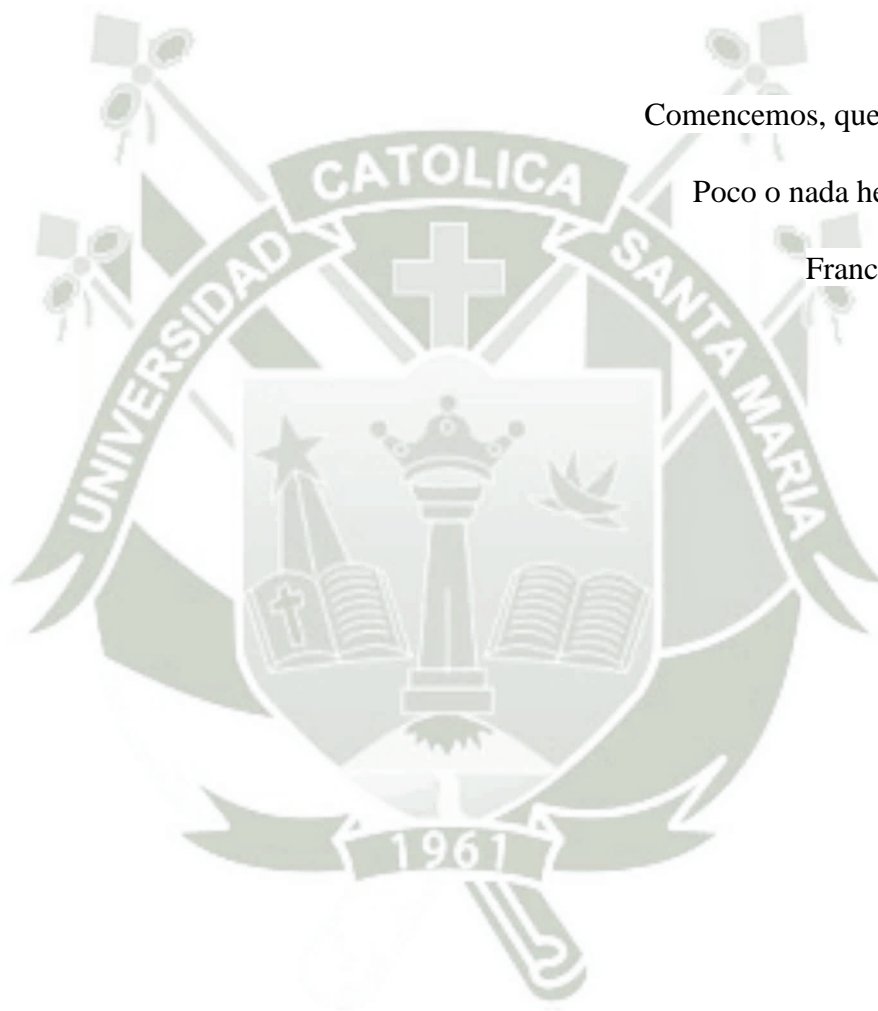
A Dios, a mis padres, mi hermano,

Mi enamorada y familiares.

Comencemos, que hasta ahora

Poco o nada hemos hecho.

Francisco de Asís



Agradecimientos

Primeramente a Dios por sobre todas las cosas, por concederme perseverancia y fortaleza para culminar el presente trabajo.

A mis Padres, Wilfredo y Roxana por apoyarme desde que inicie mis estudios hasta el día de hoy, pues aun así es poco lo que les retribuyo por todo lo que me han dado.

A mi hermano, Giancarlo por siempre buscar espacios para conversar sobre nuestro futuro, por siempre estar ahí para mí.

A mis familiares, Mis queridos abuelos, mis tías, y primos por siempre estar pendientes de mí y darme ánimos para poder culminar este trabajo.

A mi enamorada, María del Carmen, por estar siempre conmigo y apoyarme en cada paso y decisión que he tomado, porque siempre ha querido caminar junto a mí.

A mi querida Universidad Católica Santa María, A mi Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica, por brindarme los conocimientos necesarios para desenvolverme en el día a día.

Al Ingeniero Jaime Barreda del Carpio, por su disposición y paciencia para la culminación de este trabajo.

Al Dr. José Villanueva Salas, por sus consejos y palabras de aliento para culminar este trabajo.

A mis amigos, Cesar, María Alejandra, Jimmy, Germain; por acompañarme siempre en mis años de estudio y por siempre ayudarme para terminar este trabajo.

A mi querida Jufra, a todos mis carísimos y carísimas hermanas por siempre preocuparse, rezar y darme aliento para conseguir mi objetivo.

Índice de Contenido

Resumen	xiii
Abstract	xv
Introducción.....	xvii
Objetivos	xx
Objetivo General	xx
Objetivos Específicos	xx
Hipótesis.....	xxi
Capítulo I:Marco Teórico.....	1
1.1. Industria Textil	1
1.1.1. Industria textil en el Perú	1
1.1.2. Tipos de Textiles.....	3
1.1.3. Introducción sobre contaminación.....	3
1.1.4. Tratamientos Generalidades	4
1.2. Aguas Residuales.....	6
1.2.1. Procesos de tratamiento de aguas residuales textiles.....	9
1.2.2. Características de los efluentes del lavado de lana de oveja.....	11
1.3. Normativa	12
1.3.1. Ley General del Ambiente	12
1.3.1.1. Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles	14
1.3.2. Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338.....	14
1.4. Parámetros	15
1.4.1. Demanda Química de Oxígeno.....	15
1.4.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	16
1.4.3. Solidos suspendidos totales, Grasas y Aceites.....	17
1.4.4. Temperatura	18
1.4.5. Tiempo de residencia hidráulica	18
1.5. Tratamientos de Aguas Residuales.....	18
1.5.1. Proceso Anaerobio.....	18
1.5.1.1. Tratamiento de Aguas Residuales de Baja Resistencia	19
1.5.1.2. Bacterias Anaerobias.....	21
1.5.1.3. Reacción en cadena de la polimerasa.....	23

1.5.1.4. Tipos de reactores anaerobios	24
1.5.1.4.1. Biorreactor de membrana anaeróbica (AnMBR)	26
1.5.1.4.2. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)	26
1.5.1.4.3. Reactor batch secuenciación anaeróbica (AnSBR)	29
1.5.1.4.4. Reactor anaerobio por lote secuencial (anaerobic sequencing batch reactor)	29
1.5.1.4.5. Filtros Anaeróbicos	30
1.6. Procesos Aerobios	31
Capítulo II: Materiales y Métodos.....	34
2.1. Materiales	34
2.1.1. Muestra.	34
2.1.2. Material de Laboratorio	34
Equipos.	34
Material de laboratorio.....	34
Material de vidrio.....	35
Reactivos.....	35
Medios de cultivo.....	36
Otros.....	36
2.2. Métodos	37
2.2.1. Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias nativas a partir del agua residual del lavado de lana de oveja	37
2.2.1.1. Obtención de la muestra.....	37
2.2.1.2. Aislamiento de cepas nativas del agua residual del lavado de lana de oveja.....	38
2.2.1.3. Identificación de cepas anaerobias.....	38
2.2.1.4. Elaboración de curvas de crecimiento de cepas nativas.....	38
2.2.1.5. Identificación molecular de cepas nativas anaerobias con capacidad de remoción.	39
2.2.2. Diseño y construcción del biorreactor UASB.....	39
2.2.3. Determinación de parámetros en un reactor UASB.....	39
2.2.3.1. Determinación del caudal (Q).....	40
2.2.3.2. Determinación de la velocidad ascensional (Va).....	40
2.2.3.3. Determinación del Tiempo de residencia hidráulica (TRH).....	40

2.2.4. Establecimiento de parámetros de tiempo de residencia hidráulica e inyección de aire para el proceso aerobio.	41
2.2.5. Análisis de parámetros iniciales y finales.....	41
2.2.5.1. DQO.....	41
2.2.5.2. DBO ₅	41
2.2.5.3. SST.....	41
2.2.5.4. Grasas y aceites.....	42
2.2.6. Evaluación del tratamiento Anaerobio/Aerobio	42
Capítulo III: Resultados y Discusion.....	43
3.1. Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias nativas del agua residual del procesamiento de lana de oveja.	43
3.1.1. Aislamiento de cepas nativas en muestras de agua residual del lavado lana de oveja.	43
3.1.2. Identificación de cepas con capacidad de remoción.....	45
3.1.3. Elaboración de curvas de crecimiento de cepas nativas.	45
3.1.4. Identificación molecular de cepas nativas anaerobias con capacidad de remoción.....	49
3.2. Diseño y construcción del biorreactor UASB	49
3.3. Determinación de parámetros en un reactor UASB	51
3.3.1. Determinación del caudal.	51
3.3.2. Determinación de la velocidad ascensional.	51
3.3.3. Determinación del Tiempo de residencia hidráulica (THR).....	52
3.4. Reactor Aerobio: Determinación de parámetros	53
3.5. Análisis de parámetros.....	53
3.6. Evaluación del Tratamiento Anaerobio/Aerobio.....	57
3.6.1. Determinación del porcentaje de remoción	58
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones	60
4.1. Conclusiones.....	60
4.2. Recomendaciones	61
Referencias	62
Anexos.....	74

Índice de Figuras

Figura 1. Exportación de productos textiles por empresa.	2
Figura 2. Proceso de tratamiento de efluentes textiles	4
Figura 3. Composición del agua residual	8
Figura 4. Métodos de tratamiento para la degradación de colorantes en aguas residuales textiles	9
Figura 5. Concentraciones de componentes seleccionados en varios tipos de aguas residuales	10
Figura 6. Límites Máximos Permisibles para aguas residuales provenientes de la industria textil	15
Figura 7. Vías metabólicas en la digestión anaeróbica.....	20
Figura 8. Digestión anaeróbica en dos etapas	21
Figura 9. Tipos de reactores anaeróbicos de alta velocidad.	25
Figura 10. Varias configuraciones de reactores anaeróbicos	25
Figura 11. Representación esquemática de un reactor anaerobio de flujo ascendente.....	27
Figura 12. Aglomeración y agrupación de bacterias anaeróbicas en gránulos.....	28
Figura 13. Dibujo de un reactor UASB	28
Figura 14. Reactor anaerobio por lote secuencial (ASBR).	30
Figura 15. Diagramas esquemáticos de varios tipos de filtros anaeróbicos dependiendo de las características de alimentación	31
Figura 16. Puntos de Muestreo.....	37
Figura 17. Muestras en caldo tioglicolato	43
Figura 18. Cepas en agar sangre.....	44
Figura 19. Grafica del N° bacterias vs tiempo de la Cepa Oveja 1.....	46
Figura 20. Grafica del N° bacterias vs tiempo de la cepa Oveja 2.....	46
Figura 21. Grafica de la masa vs tiempo de la Cepa Oveja 1.....	47
Figura 22. Grafica de la masa vs tiempo de la Cepa Oveja 2.....	47
Figura 23. Curva de crecimiento bacteriano para la Cepa Oveja 1	48
Figura 24. Curva de crecimiento bacteriano para la Cepa Oveja 2.....	48
Figura 26. Biorreactor UASB.....	51
Figura 27. Valores de DQO después del tratamiento Anaerobio/Aerobio. Tiempo vs DQO	55
Figura 28. Valores de DBO ₅ después del tratamiento Anaerobio/Aerobio. Tiempo vs DBO ₅	55

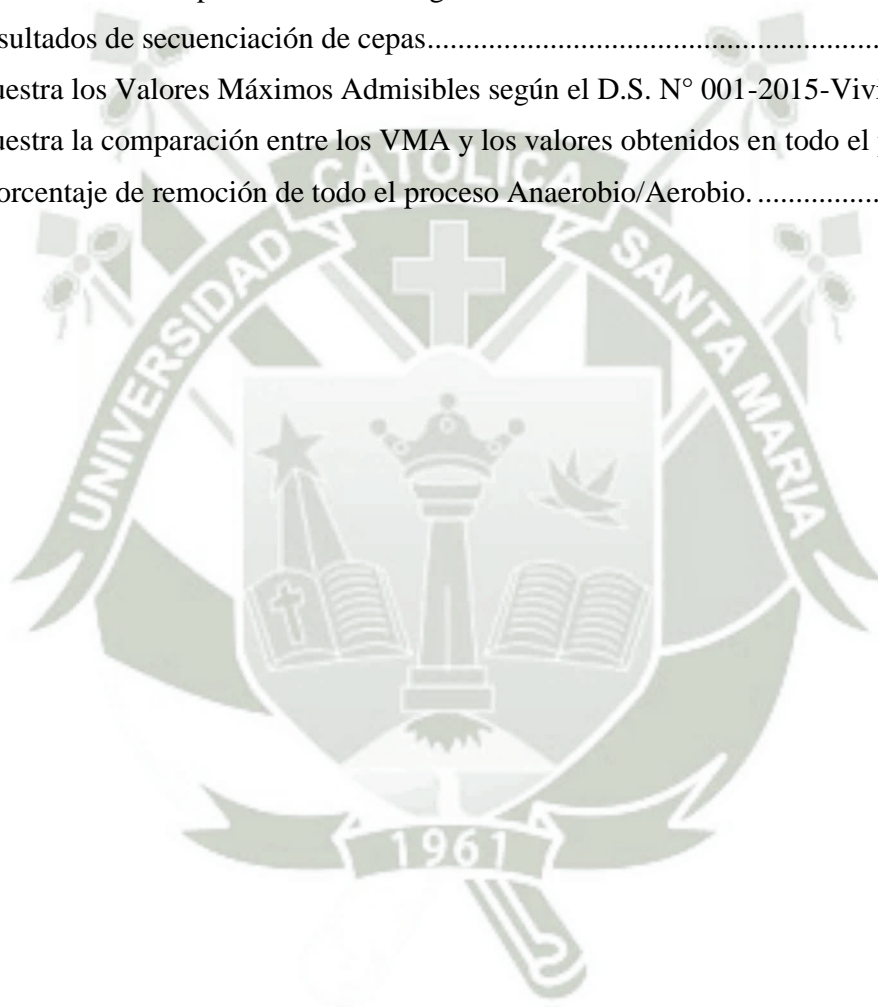
Figura 29. Valores de Sólidos Suspendedos Totales después del tratamiento Anaerobio/Aerobio.
Tiempo vs SST 56

Figura 30. Valores de Grasas y Aceites después del tratamiento Anaerobio/Aerobio. Tiempo vs
GyA 56



Índice de Tablas

Tabla 1. Características típicas del agua residual textil.....	1
Tabla 2. Principales empresas dedicadas a la fabricación de hilados y tejidos.....	3
Tabla 3. Contaminantes importantes de las aguas residuales.....	7
Tabla 4. Composición de aguas residuales en industrias seleccionadas.....	11
Tabla 5. Resultados de la Tinción de Gram	44
Tabla 6. Resultados de la ruptura del medio tioglicolato	45
Tabla 7. Resultados de secuenciación de cepas.....	49
Tabla 8. Muestra los Valores Máximos Admisibles según el D.S. N° 001-2015-Vivienda .	57
Tabla 9. Muestra la comparación entre los VMA y los valores obtenidos en todo el proceso.	58
Tabla 10. Porcentaje de remoción de todo el proceso Anaerobio/Aerobio.....	58



Índice de Anexos

Anexo 1. Caldo Tioglicolato	74
Anexo 2. Agar Sangre	75
Anexo 3. Tinción de Gram	76
Anexo 4. Ecuaciones para el Diseño de la Campana GLS y deflectores.	77
Anexo 5. Reactivos para la Determinación de DQO.....	78
Anexo 6. Reactivos para la Determinación de DBO ₅	79
Anexo 7. Pago adicional por descarga al alcantarillado impuesta por el DS 001-2015-Vivienda	80
Anexo 8. Morfología de las 5 cepas aisladas	81
Anexo 9. Cepas con capacidad de remoción	82
Anexo10. Secuencia Fasta y árbol Filogenético.....	83
Anexo 11. Planos del Biorreactor UASB	85
Anexo 12. Diseño y cálculos de la Campana GLS.....	87
Anexo 13. Reactor Aerobio.....	92
Anexo 14. Datos obtenidos de las experimentación de los parámetros: Demanda Química de oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Solidos Suspendidos Totales, Grasas y Aceites.93	
Anexo 15. Cálculos para determinar la penalidad impuesta por el DS 001-2015-Vivienda. 97	

Lista de Abreviaturas

UASB: Up Flow Anaerobic Sludge Blanket – Reactor anaerobio de flujo ascendente.

VMA: Valores Máximos Admisibles.

TRH: Tiempo de Residencia Hidráulica.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

SST: Sólidos Suspendedos Totales.

A y G: Aceites y Grasas.

Va: Velocidad ascensional





Resumen

El incremento de la contaminación ambiental es un tema muy importante, en los últimos años han crecido las tecnologías para tratar diferentes tipos de aguas residuales, sean domésticas o industriales. En el presente trabajo de investigación se plantea una tecnología combinada de tratamiento anaerobio usando un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB por sus siglas en inglés) y un reactor aerobio insuflado con aire para el tratamiento de aguas residuales procedentes del lavado de lana de oveja de la industria textil. Para el tratamiento anaerobio se diseñó el biorreactor UASB con una capacidad de 42 L con un tiempo de residencia hidráulica de 25.4 horas. Se aislaron dos cepas procedentes del agua residual del lavado de lana de oveja, las cuales fueron identificadas molecularmente como *Kurthia gibsonii* y *Kurthia sp.* Para el reactor aerobio se trabajó con un recipiente de una capacidad de 20 L con un tiempo de residencia hidráulica de 5 días y 28.22 kg de aire/día. Luego de combinar los dos tratamientos se obtuvieron porcentajes de remoción de 87.05% para DBO₅, 85.04% para DQO, 88.52% para SST y 89.75% para AyG, se escogieron estos parámetros debido a que el agua residual procedente de la industria textil son descargadas a la red de alcantarillado según la normativa establecida por el DS 001-2015-Vivienda, nos indica que si el agua residual supera los Valores Máximos Admisibles la empresa debe ser multada.

Se logró mediante la combinación del tratamiento anaerobio/aerobio reducir estos parámetros y lograr que la empresa no sea multada por la descarga de sus efluentes.

Palabras Clave:

Lana de oveja, Biorreactor UASB, reactor aerobio, valores máximos admisibles.





Abstract

The increase in environmental pollution is a very important issue, in recent years technologies have grown to treat different types of wastewater, whether domestic or industrial. In this research work we propose a combined technology of anaerobic treatment using an anaerobic upflow reactor (UASB) and an aerobic reactor inflated with air for the treatment of wastewater from the washing of sheep wool from the textile industry. For the anaerobic treatment, the UASB bioreactor was designed with a capacity of 42 L with a hydraulic residence time of 25.4 hours. Two strains were isolated from the residual water of sheep wool washing, which were identified molecularly as *Kurthia gibsonii* and *Kurthia* sp. For the aerobic reactor we worked with a container with a capacity of 20 L with a hydraulic residence time of 5 days and 28.22 kg of air / day. After combining the two treatments, removal percentages of 87.05% for BOD₅, 85.04% for COD, 88.52% for SST and 89.75% for AyG were obtained, these parameters were chosen because the wastewater from the textile industry is discharged to The sewage network according to the regulations established by DS 001-2015-Housing, tells us that if the residual water exceeds the Maximum Acceptable Values, the company must be fined.

It was achieved by combining the anaerobic/aerobic treatment to reduce these parameters and ensure that the company is not fined for the discharge of its effluents.

Keywords:

Sheep wool, UASB bioreactor, aerobic reactor, maximum admissible values.



Introducción

La rápida industrialización del mundo ha contribuido a una gran insostenibilidad debido a los altos niveles de contaminación. ^[1] En las últimas décadas, un aumento en la demanda de productos textiles ha llevado a un aumento pronunciado en la contaminación del agua. ^[2] El efluente textil es etiquetado como el más contaminante, ya que consume una gran cantidad de agua y productos químicos para el procesamiento de tejidos en todo el mundo y, a su vez, estas industrias generan contaminación al descartar los desechos. ^[3]

La industria textil juega un rol estratégico para el desarrollo de la economía nacional, es así que por sus características y potencial constituye una industria altamente integrada, generadora de empleos y que utiliza recursos naturales del país. En el caso peruano, desde los tiempos pre inca el algodón y el pelo fino de camélidos han sustentado el desarrollo de la actividad económica en el Perú. ^[4]

Las industrias textiles están constantemente identificando, rastreando y dirigiendo sus vulnerabilidades relacionadas con la contaminación para satisfacer las crecientes demandas de consejos y responsabilidades ambientales. ^[5]

El tratamiento de aguas residuales a menudo se considera costoso debido a los elevados costos de energía y las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) buscan nuevos enfoques para la autosuficiencia energética. ^[6]

El tratamiento anaeróbico de las aguas residuales domésticas ahorra energía y a su vez genera energía en forma de metano, y solo produce una pequeña cantidad de lodo en exceso. Estas ventajas del tratamiento anaeróbico resultan en una reducción de los costos operativos en comparación con el tratamiento convencional de aguas residuales domésticas. ^[7]

El proceso de digestión anaerobia consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos en ausencia de oxígeno molecular. En ella se obtiene como subproducto

el denominado biogás que se compone de un 70% de metano y un 30% de una mezcla de dióxido de carbono y otros compuestos como nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, los cuales son responsables de los malos olores generados durante la digestión. ^[8]

El proceso de digestión anaeróbica, es un potencial factible para resolver problemas de residuos, este proceso ha sido exitosamente empleado a lo largo de los años para tratar las aguas residuales que emergen de los diferentes sectores tanto productivos como domésticos.

^[9] Además el proceso de digestión anaerobia ha tenido éxito en: 1) generación de energía; 2) producción de materiales estables como compostaje; 3) destrucción de patógenos. ^[10]

Los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) se han utilizado ampliamente en el tratamiento anaeróbico de aguas residuales industriales para la eliminación de la materia orgánica y la generación simultánea de metano en las últimas décadas. ^[11]

Mahmoud investigó un sistema anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Este sistema trata las aguas en un reactor anaerobio de flujo ascendente a un tiempo de residencia hidráulica corto. ^[12]

El flujo combinado ascendente de las aguas residuales, puede hacer que algunos de los sólidos del lodo lleguen a la parte superior del reactor, donde un separador gas-sólido-líquido, impide la salida de los sólidos del reactor separándolos del gas producido y del efluente líquido. El biogás es captado bajo una campana y conducido hacia la superficie del reactor. Algunos sólidos son arrastrados con el agua hacia el sedimentador, situado encima de la campana de gas, donde los sólidos sedimentan y retornan al manto de lodos, el efluente cae a un canal situado en la parte superior del reactor, donde es descargado. ^[13] Las grandes concentraciones de biomasa con elevada actividad que se consiguen, permiten el funcionamiento a alta carga orgánica con buenas eficacias de eliminación. La biomasa activa puede estar en forma de gránulos compactos o en forma de lodos floculentos con buena sedimentabilidad lo cual convierte en su característica principal la retención de la biomasa sin necesidad de soporte. ^[14]

Los sistemas de tratamiento aeróbico son oxidantes de alta velocidad de compuestos orgánicos solubles y nitrogenados. Los reactores de tratamiento aeróbico comercialmente disponibles promueven la eliminación de color, sólidos en su suspensión, patógenos y la

reducción de DQO, DBO₅ y otros. Los procesos aeróbicos para el tratamiento de aguas residuales textiles son eficientes y rentables. La mayoría de los reactores aeróbicos funcionan con un volumen constante con mezcla completa y flujo intermitente, ya que el afluente no es continuo en las industrias textiles de pequeña escala. ^[15]

En el presente trabajo de investigación se utilizó la combinación tanto del tratamiento anaerobio con un reactor anaerobio de flujo ascendente y un tratamiento aerobio usando un recipiente al cual se le insufla aire para tratar el agua residual procedente del lavado de lana de oveja, dicha agua residual excede los parámetros establecidos en los Valores Máximos Admisibles generando un costo adicional por su descarga al alcantarillado.



Objetivos

Objetivo General

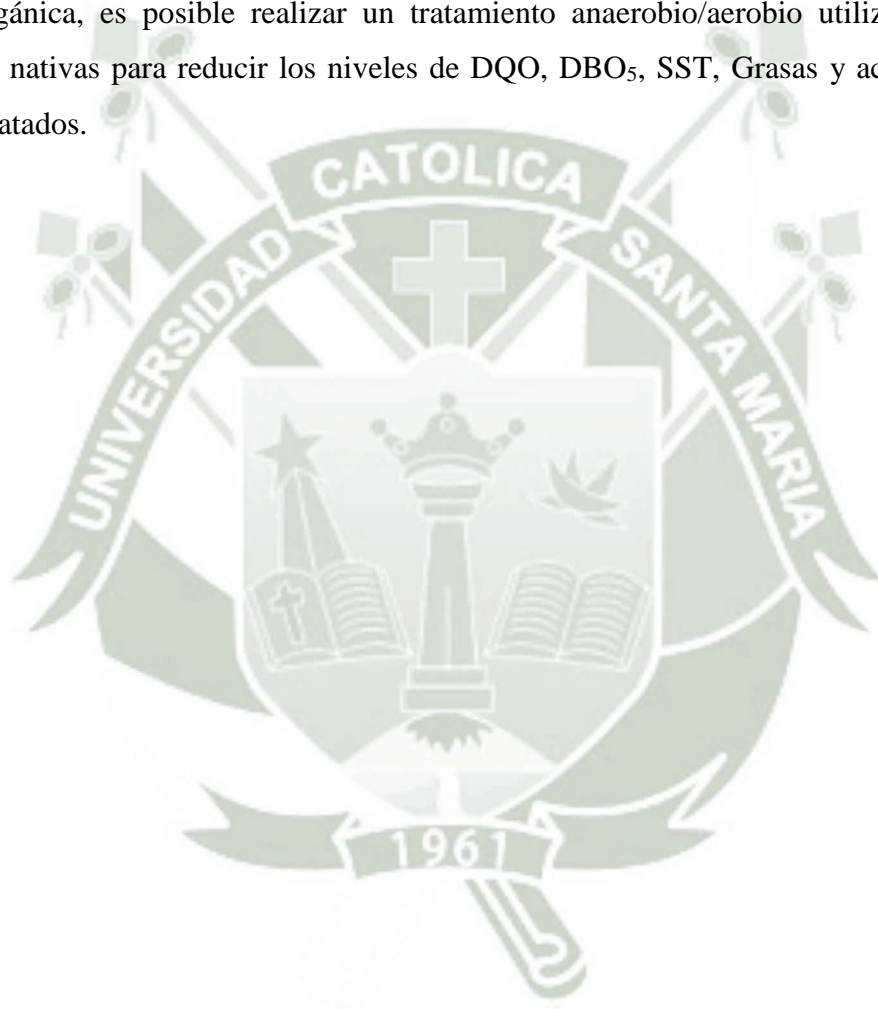
Tratar aguas residuales del lavado de lana de oveja en la industria textil mediante un sistema combinado de reactores anaerobio/aerobio.

Objetivos Específicos

1. Aislar, caracterizar e identificar cepas bacterianas nativas procedentes del agua residual del procesamiento de lana de oveja.
2. Diseñar y construir un reactor UASB para reducir niveles de DQO, DBO₅, SST, Grasas y aceites en el agua residual procedente del procesamiento de lana de oveja.
3. Determinar el efecto del tiempo de Residencia Hidráulica y velocidad ascensional en el proceso anaerobio en un reactor UASB.
4. Determinar el efecto del tiempo de Residencia Hidráulica e inyección de aire en el proceso aerobio.
5. Evaluar la eficiencia de los procesos anaerobio/aerobio para la remoción de DQO, DBO₅, SST, Grasas y aceites

Hipótesis

Dado que el proceso de lavado proveniente de la industria textil posee un gran contenido de materia orgánica, es posible realizar un tratamiento anaerobio/aerobio utilizando cepas bacterianas nativas para reducir los niveles de DQO, DBO₅, SST, Grasas y aceites de los efluentes tratados.



Capítulo I: Marco Teórico

1.1. Industria Textil

1.1.1. Industria textil en el Perú

La industria textil es uno de los sectores económicos importantes y siempre sirve como columna vertebral de la economía de los países en desarrollo y subdesarrollados. Es una industria diversa y compleja, que comprende procesos variables como lavado, fregado, decoloración, mercerización, teñido y acabado para producir productos relacionados con los textiles, como ropa, alfombras, cortinas, tapicería, ropa de cama, toallas y mucho más, es por eso que en sus efluentes se pueden encontrar diferentes contaminantes como lo indica la Tabla 1. ^[16]

Caracterizada por el intenso consumo de productos químicos, agua, combustible y energía, la industria textil se ha convertido en una de las mayores amenazas para el medio ambiente. ^[17]

Tabla 1. Características típicas del agua residual textil. ^[16]

Parameter	Range
Chemical oxygen demand (mg/L)	150-12,000
Biochemical oxygen demand (mg/L)	80-6000
Total suspended solids (mg/L)	15-8000
Total dissolved solids (mg/L)	2900-3100
pH	6-10
Temperature (°C)	35-45
Color (Pt-Co)	50-2500
Sodium (mg/L)	70
Nitrogen (mg/L)	70-80
Oil and grease (mg/L)	10-30
SO₄ (mg/L)	600-1000
Clorine (mg/L)	1000-6000

Por empresa, las diez principales exportadoras de productos textiles concentraron el 50,8 % del valor exportado de este grupo de productos durante el 2015. De este top 10, la empresa que lidera la lista es Michell y CIA S.A, considerada la empresa peruana más grande de exportación de productos textiles como se muestra en la Figura 1. ^[4]

Valor FOB (millones de US \$)	Anual				Enero - Setiembre		
	2013	2014	2015	Variación (%) 15/14	2015	2016	Variación (%) 16/15
Empresa							
MICHELL Y CIA S.A.	70,1	77,5	68,3	-11,88	57,7	56,6	-1,89
INCA TOPS S.A.A.	37,1	48,7	44,5	-8,64	37,1	27,2	-26,65
SUDAMERICANA DE FIBRAS S.A.	42,4	56,9	39,0	-31,50	31,4	21,4	-32,08
FITESA PERU S.A.C.	18,6	18,2	19,0	4,04	13,1	15,2	16,60
INDUSTRIA TEXTIL PIURA S.A.	19,7	17,6	13,1	-25,57	9,8	6,2	-36,77
CIA. IND. TEXTIL CREDISA-TRUTEX S.A.A.	20,3	18,2	12,7	-29,99	8,9	9,0	2,05
TEXAO LANAS S.A.C.		11,9	10,5	-11,30	5,8	0,5	-92,04
TEXTILES CAMONES S.A.	13,7	16,5	10,1	-38,51	8,5	6,8	-19,08
TEXTIL OCEANO S.A.C.	12,2	10,3	9,9	-4,62	8,8	5,6	-36,70
TEJIDOS SAN JACINTO S.A.	8,9	13,3	8,5	-35,83	7,4	4,8	-36,11
Resto de empresas	333,2	361,4	228,1	-36,89	178,2	135,1	-24,21
TOTAL	576,3	650,5	463,7	-28,72	366,7	288,3	-21,37

Peso Neto (Toneladas)	Anual				Enero - Setiembre		
	2013	2014	2015	Variación (%) 15/14	2015	2016	Variación (%) 16/15
Empresa							
MICHELL Y CIA S.A.	4 261	4 292	3 423	-20,26	2 939	3 041	3,46
INCA TOPS S.A.A.	2 162	2 858	2 349	-17,81	1 900	1 733	-8,81
SUDAMERICANA DE FIBRAS S.A.	15 196	19 690	15 871	-19,40	12 241	11 555	-5,60
FITESA PERU S.A.C.	6 399	5 530	6 684	20,88	4 351	5 788	33,03
INDUSTRIA TEXTIL PIURA S.A.	2 293	1 860	1 450	-22,04	1 068	707	-33,74
CIA. IND. TEXTIL CREDISA-TRUTEX S.A.A.	1 856	1 502	951	-36,71	646	813	25,76
TEXAO LANAS S.A.C.	0	712	661	-7,16	386	24	-93,87
TEXTILES CAMONES S.A.	1 398	1 700	1 123	-33,97	922	825	-10,53
TEXTIL OCEANO S.A.C.	1 352	1 111	1 186	6,70	1 062	765	-27,97
TEJIDOS SAN JACINTO S.A.	1 151	2 047	1 422	-30,52	1 241	907	-26,92
Resto de empresas	46 946	50 401	39 484	-21,66	30 585	23 901	-21,86
TOTAL	83 014	91 704	74 604	-18,65	57 340	50 057	-12,70

Figura 1. Exportación de productos textiles por empresa. ^[4]

Las principales empresas del subsector de fabricación de hilados y tejidos se muestran en la Tabla 2

Tabla 2. Principales empresas dedicadas a la fabricación de hilados y tejidos. [4]

Empresas
Cia. Universal Textil S.A. (antes Universal Textil S.A)
Sudamericana de Fibras S.A
Consortio textil del Pacífico S.A
Michell y Cia. S.A.
Fábrica de tejidos la Bellota
Fabritex Peruana
Fijesa SA
Inca TOPS S.A
Texfina SA
Negociación Lanera del Perú
Industria Textil Piura
La Colonial- Fabrica de Hilos
San Miguel Industrial
Tejidos San Jacinto SA
Empresa aldonera S.A

1.1.2. Tipos de Textiles

La industria textil utiliza fibras obtenidas de una amplia variedad de animales, de los cuales la lana de oveja es la más importante. [18]

La lana cruda contiene alrededor del 25 al 70% de impurezas; estos consisten en grasa de lana, suint (residuos de la transpiración), suciedad y materia vegetal, como semillas, además consiste en una mezcla de ácidos grasos y ésteres; y suint se compone de sales de potasio de ácidos grasos, además de fosfato, sulfato y compuestos nitrogenados. La grasa de lana, la suint y la suciedad se eliminan al fregar. El material vegetal se elimina en el cardado y peinado. [19]

Las fibras de lana consisten en una mezcla compleja de aproximadamente 170 proteínas diferentes. [20] Estos varían en masa molecular relativa desde menos de 10,000 Da hasta más de 50,000 Da. [21]

1.1.3. Introducción sobre contaminación

La contaminación del agua es una gran amenaza ambiental en todo el mundo. El agua es una fuente importante para todos los seres vivos en el ecosistema. El efluente de la industria textil es la principal contribución a la contaminación del agua. Los efluentes textiles

son ricos en esencias químicas y una variedad de tintes ^[22]. En este contexto, el tinte se considera uno de los componentes más problemáticos en el tratamiento de aguas residuales debido a su compleja estructura química. Los aditivos químicos en efluentes textiles consisten en una alta concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos ^[23].

1.1.4. Tratamientos Generalidades

El efluente de la industria textil consiste en tintes, productos químicos. Estos efluentes que se descargan directamente en las fuentes de agua contaminan las corrientes de agua y causan problemas ambientales y de salud para los humanos. Por lo tanto, el efluente debe tratarse antes de la descarga de la industria. En general, existen tres mecanismos para el tratamiento de aguas residuales: (1) físico, (2) químico y (3) biológico. ^[24] Estos tres mecanismos se realizan juntos en una planta de tratamiento, como se muestra en la Figura 2. Las plantas de tratamiento de aguas residuales se clasifican en tres grupos:

1. Tratamiento primario
2. Tratamiento secundario
3. Tratamiento terciario

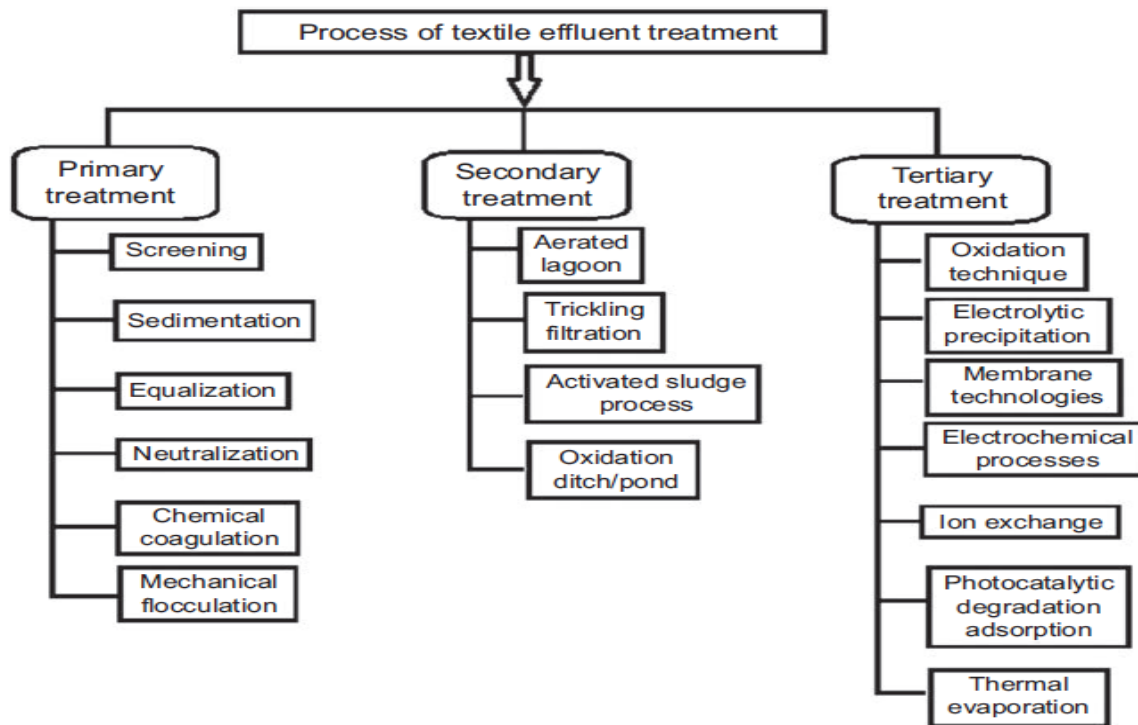


Figura 2. Proceso de tratamiento de efluentes textiles. ^[24]

Tratamiento primario:

En el tratamiento de efluentes textiles, el primer paso es eliminar el material flotante y sedimentable, es decir, sólidos suspendidos, materia orgánica, cantidades excesivas de aceite y grasa y materiales arenosos (físicos y químicos). En el tratamiento primario, el efluente textil se somete a la detección de partículas suspendidas gruesas tales como hilados, pelusas, telas, fibras y trapos, utilizando barras y pantallas finas. El proceso de selección se lleva a cabo mediante sedimentación, que utiliza la gravedad para depositar las partículas suspendidas. ^[25]

Al realizar un tratamiento químico, se encuentra una reducción sustancial en DBO₅ y DQO en el efluente. El cribado grueso se realiza a través de dos tipos: (1) cribado fino (1,5-6 mm) y (2) cribado muy fino (0,2-1,5 mm). Luego, los efluentes filtrados se dejan sedimentar por la eliminación de partículas en suspensión. La principal desventaja del proceso de sedimentación es que no es capaz de eliminar las partículas coloidales del efluente porque las partículas coloidales llevan algo de carga en su superficie. Al agregar productos químicos como sulfato férrico, cloruro férrico, cal, alumbre y sulfato ferroso, la propiedad de la superficie de las partículas coloidales cambia y pueden agruparse fácilmente, seguido de establecerse como lodo. ^[26]

Tratamiento secundario:

Se han empleado diferentes tecnologías en el tratamiento secundario, como lagunas aireadas, filtración por goteo, un proceso de lodo activado y oxidación. El mecanismo biológico tiene un papel significativo en el tratamiento secundario; está principalmente asociado con la reducción del contenido de DBO₅, DQO, aceite, grasa y fenol en el efluente. La materia orgánica disuelta generalmente se oxida por bacterias aeróbicas, que usa materia orgánica como fuente de energía y nutrientes ^[27].

La materia orgánica nitrogenada y disuelta se puede convertir en amoníaco, metano, CO₂ y agua. La laguna aireada es uno de los tratamientos biológicos más utilizados. Consiste en un tanque grande. El efluente del tratamiento primario se somete a aireación durante aproximadamente 2-6 días en tanques de aireación y se mezcla completamente. El agua

residual se trata con flujo continuo o con reciclaje de sólidos. La DBO_5 , la eliminación total de sólidos en suspensión y el fósforo se puede lograr en lagunas aireadas. La principal desventaja de esta técnica es que es costosa, requiere un gran espacio y existe el riesgo de contaminación bacteriana. [28]

El proceso de lodo activado es el método más efectivo para tratar el efluente de teñido textil. El lodo activado tiene fuertes características de descomposición y adsorbe compuestos orgánicos tóxicos. El lodo activado se compone principalmente de muchos microorganismos. La principal ventaja es que no existe un problema de eliminación de lodos. [29]

La oxidación es el proceso de decoloración química más comúnmente utilizado. En general, en el efluente textil, la eliminación del color de varios tintes y compuestos orgánicos tóxicos es complicado. En el proceso de oxidación, diferentes agentes oxidantes como el radical oxidrilo, el ozono y el peróxido de hidrógeno se utilizan con eficacia. Estos agentes oxidantes se usan con catalizadores que oxidan el tinte y compuestos orgánicos tóxicos. Las principales desventajas de este proceso son la floculación, la generación de lodo y la transferencia de impurezas de aguas residuales a lodos. [30]

Tratamiento terciario

El tratamiento terciario reduce los compuestos de color orgánicos y elimina contaminantes específicos. Los métodos más comúnmente utilizados de tratamiento terciario son la precipitación electrolítica, tecnología de membrana, procesos electroquímicos, intercambio iónico, degradación foto catalítica, adsorción y evaporación térmica. [31]

1.2. Aguas Residuales

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias. [32] Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los

residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual. ^[33] Así, de acuerdo con su origen, las aguas residuales pueden ser clasificadas como:

- Domésticas: Son aquellas utilizadas con fines higiénicos (baños, cocinas, lavanderías, etc.). Consiste básicamente en residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación también en residuos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares.

- Industriales: Son líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria.

- Infiltración y caudal adicionales: Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes de las tuberías, paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc.

- Pluviales: Son agua de lluvia, que descargan grandes cantidades de agua sobre el suelo. Parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo. ^[34] En la Tabla 3 y Figura 3 se muestran los contaminantes y composición de las aguas residuales.

Tabla3. Contaminantes importantes de las aguas residuales. ^[36]

Contaminante	Fuente	Importancia Ambiental
Sólidos suspendidos	Uso doméstico, desechos industriales y agua infiltrada a la red	Causa depósitos de lodo y condiciones anaeróbicas en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables	Desechos domésticos e industriales.	Causa degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos	Desechos domésticos.	Causan enfermedades transmisibles
Nutrientes	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutrofización.
Compuestos orgánicos refractarios.	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor, pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reuso del efluente.

Sólidos inorgánicos disueltos	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro del agua	Puede interferir con el reuso del efluente.
--------------------------------------	---	---

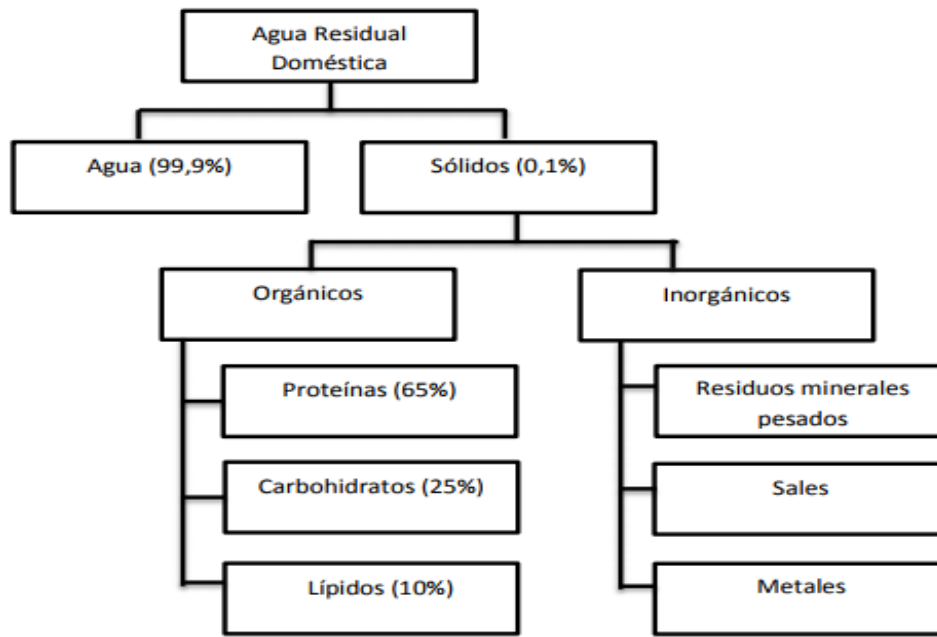


Figura3: Composición del agua residual. ^[35]

La industria textil es un creador principal de aguas residuales efluentes debido a un mayor consumo de agua para su diferente procesamiento. Estas aguas residuales contienen productos químicos como ácidos, álcalis, colorantes, peróxido de hidrógeno, almidón, surfactantes agentes dispersantes y jabones de metales. ^[37]

De acuerdo con la estimación del Banco Mundial, tratamiento de teñido y acabado textil dado a un tejido genera alrededor del 17 al 20 por ciento de aguas residuales industriales. ^[38]

Estos tintes en las aguas residuales afectan severamente la función fotosintética en la planta. Ellos también tienen un impacto en la vida acuática debido a la baja penetración de luz y consumo de oxígeno. Las partículas suspendidas pueden ahogar las agallas de los peces y matarlas. Ellos también disminuyen la capacidad de las algas para producir alimentos y

oxígeno. También se detecta que estos tintes obstaculizan ciertas aguas residuales municipales en sus operaciones de tratamiento tales como descontaminación ultravioleta, etc. [39]

1.2.1. Procesos de tratamiento de aguas residuales textiles

Las aguas residuales textiles tienen un alto color, alta DBO_5 / DQO y sal (Carga total de sólidos disueltos, STD). Por lo tanto, antes de la descarga de aguas textiles en el río, muchos procesos de tratamiento (Figura 4) incluyendo físicos, químicos, bioquímicos, procesos de tratamiento híbrido tienen desarrollado para tratarlo de una manera económica y eficiente. Estas las tecnologías son verificadas para ser altamente efectivas para el tratamiento de aguas residuales textiles. [24]

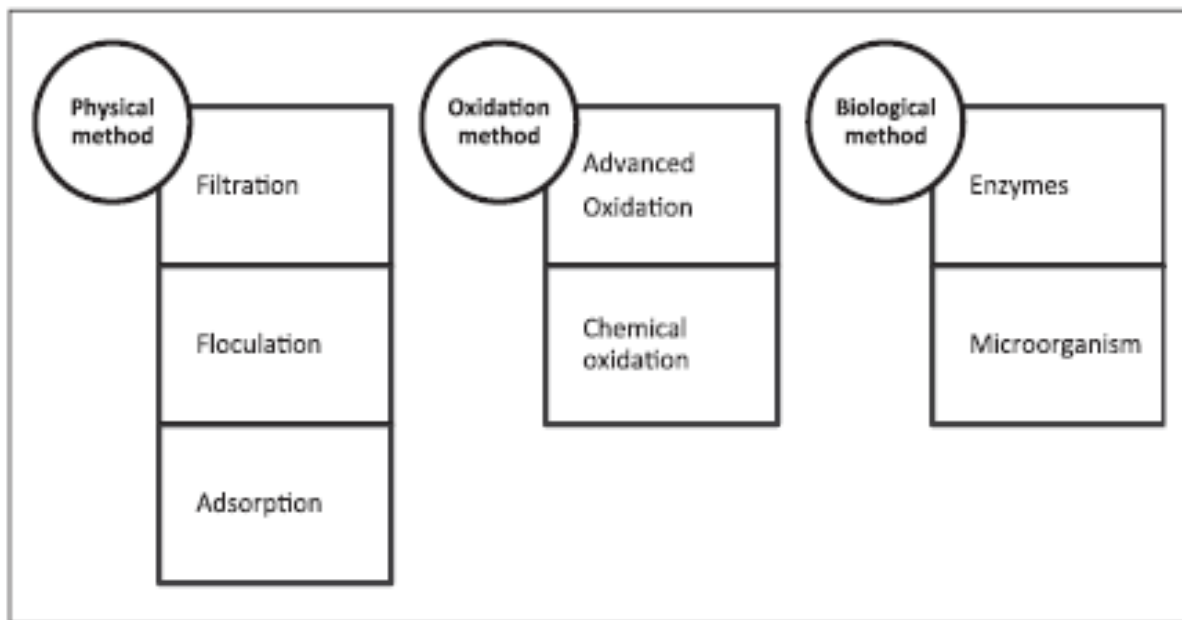


Figura 4. Métodos de tratamiento para la degradación de colorantes en aguas residuales textiles [40].

Bateup describe la existencia de tres tipos de contaminantes: la “grasa” ovina está compuesta por fracciones oxidadas la más expuesta a la atmósfera y no-oxidadas. Estas se comportan de manera diferente en el lavado. La no oxidada y la mayor parte de la oxidada son removidas con facilidad, quedando en la fibra una pequeña cantidad de “grasa” oxidada de difícil remoción. La suintina está compuesta de una fracción rápidamente soluble y una

fracción que se disuelve relativamente despacio. La suciedad está conformada por tierra mineral, suciedad orgánica no proteica y suciedad proteica. Estas fracciones de suciedad son removidas en tiempos diferentes. ^[41]

Los desechos, tanto líquidos como sólidos, se producen en todas las comunidades por ocupaciones antropogénicas. Los desechos líquidos, denominados aguas usadas o aguas residuales, provienen de una variedad de fuentes que incluyen hogares, desarrollos comerciales, hospitales, instituciones, industrias, etc. (Figura 5 y Tabla 4) Debido a la diversidad de las fuentes de aguas residuales, los contaminantes presentes en las aguas residuales también varían considerablemente. Comprender los constituyentes de las aguas residuales es importante para determinar los métodos de tratamiento apropiados para el tratamiento de aguas residuales, la reutilización del agua y la eliminación. ^[42]

	Total Suspended Solids	Biochemical Oxygen Demand (5 days)	Chemical Oxygen Demand Total	Fats, Oils, and Grease	Total Nitrogen
Wastewater	Concentrations Are Provided in mg/L				
Municipal wastewater	350–1200	100–350	210–740	30–100	20–80
Household wastewater (median 1028)	252–3320	112–1101	139–1650	16–134	44–189
Storm water	112–1894	12–19	82–178	<1 to <7	3.5
Industrial wastewater	Dependent on industry. See Table 12.2				

Figura 5. Concentraciones de componentes seleccionados en varios tipos de aguas residuales. ^[43]

Tabla 4. Composición de aguas residuales en industrias seleccionadas. ^[43]

Industry	Solids Concentration (mg/L) and pH Values	Oxygen Demand (mg/L)	Nutrients Concentration
Mills and tanneries	N.A	BOD: 1000-2000	Total Nitrogen: 200-400 mg N/L
Landfills	pH: 6.5-7.2	BOD 300-12000 COD: 1,200-16,000 N.A	Total Nitrogen: 100-500 mg N/L
Acids,mine drainage (surface mines)	pH: 2.67-7.7 TSS: 4-15,878	N.A	Ammonia: 0.53-22 mg N/L Sulfate: 22-3860 mg SO ₄ - 2 /L
Textiles	TSS:1560	BOD:800-1000	Organic nitrogen: 8 mg N/L
Dairy (mixed production)	N.A	COD: 4000	Ammonia: 5-626 mg N/L
Slaughterhouse	TSS: 1400	BOD: 100-2000 BOD: 500-1000	Nitrate: 0.2-24.4 mg N/L Organic nitrogen: 300-1005 mg N/L
Breweries	TSS: 500	BOD: 1000-3000	Ammonia: 125 mg N/L Total phosphorus: 10-20 P/L
Vegetable canneries	TSS:1350	BOD 800-5000	Ammonia: 5-45 mg N/L
Petroleum refining	TSS: 441	N.A	Ammonia: 0-5000 mg N/L
Commercial laundries	TSS: 1000	COD: 5000	Total phosphorus 10-50 mg P/L
Photolab	N.A	BOD: 400-700	N.A
Printing houses	TSS: 1180	BOD: 210	N.A

BOD, Biological oxygen demand; COD, chemical oxygen demand, TSS, total suspended solids

1.2.2. Características de los efluentes del lavado de lana de oveja

Los efluentes están constituidos principalmente por componentes orgánicos solubles y emulsionados, materiales sólidos relativamente inertes, tenso activos no iónicos y pesticidas incorporados en la materia prima. ^[44]

La grasa de lana es difícilmente biodegradable, y constituye el principal material emulsionado en el lavado. Los sólidos inertes representan una alta proporción de los

contaminantes y están constituidos principalmente por micropartículas de materiales arcillosos. ^[45]

Los efluentes pueden ser divididos en tres categorías: Pesados, ligeros de enjuague y residuos sólidos. El efluente pesado contiene altas concentraciones de sólidos solubles en agua (suint), solventes solubles (grasa) y suciedades en emulsión estable. El efluente de enjuague contiene primariamente bajos niveles de suciedad, pero contiene cerca de dos tercios de volumen de agua (6 a 7 L/kg de lana sucia). Los residuos sólidos incluyen el material removido en las operaciones de apertura, ellos contienen suciedad, fibras cortas y materia vegetal. ^[44]

1.3. Normativa

1.3.1. Ley General del Ambiente

Ley N° 28611

Publicada el 15 de octubre de 2005

Artículo 3.- Del rol del Estado en materia ambiental

El Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la presente Ley.

Artículo 66.- De la salud ambiental

66.1 La prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritaria en la gestión ambiental. Es responsabilidad del Estado, a través de la Autoridad de Salud y de las personas naturales y jurídicas dentro del territorio nacional, contribuir a una efectiva gestión del ambiente y de los factores que generan riesgos a la salud de las personas.

66.2 La Política Nacional de Salud incorpora la política de salud ambiental como área prioritaria, a fin de velar por la minimización de riesgos ambientales derivados de las actividades y materias comprendidas bajo el ámbito de este sector

Artículo 74.- De la responsabilidad general

Todo titular de operaciones es responsable por las emisiones, efluentes, descargas y demás impactos negativos que se generen sobre el ambiente, la salud y los recursos naturales, como consecuencia de sus actividades. Esta responsabilidad incluye los riesgos y daños ambientales que se generen por acción u omisión.

Artículo 121.- Del vertimiento de aguas residuales

El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes.

Artículo 122.- Del tratamiento de residuos líquidos

122.1 Corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales.

122.2 El sector Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de LMP en los residuos líquidos domésticos, en coordinación con las autoridades sectoriales que ejercen funciones relacionadas con la descarga de efluentes en el sistema de alcantarillado público.

122.3 Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes.

El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia

1.3.1.1. Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles

Artículo 66.- Aplicación de normas internacionales y de nivel internacional.-

En el caso específico que se requiera un ECA o LMP y éstos no hubieran sido aprobados en el país para la actividad correspondiente, el CONAM en coordinación con las entidades correspondiente autorizará el uso de un estándar internacional o de nivel internacional, debiendo dicha decisión ser publicada en el Diario Oficial El Peruano. ^[46]

1.3.2. Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338

Artículo 79°.- Vertimiento de agua residual La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la Autoridad Nacional debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto.

En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la Autoridad Nacional suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas.

Corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado. ^[47]

La norma oficial mexicana NOM-CCA-014-ECOL/1993, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria textil. Se muestran los parámetros en la Figura 6. ^[48]

Parámetros	Unidad	LMP, promedio diario instantáneo
pH	Unidades	6-9
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	100-120
Aceites y grasas	mg/l	20
Sólidos Sedimentables	mg/l	1
DBO ₅	mg/l	100
DQO	mg/l	200
Sulfuros	mg/l	0,2
Fenoles	mg/l	0,1

Figura6. Límites Máximos Permisibles para aguas residuales provenientes de la industria textil. ^[48]

1.4. Parámetros

1.4.1. Demanda Química de Oxígeno

ISO 6060 establece que la definición aceptada de DQO (demanda química de oxígeno) es la concentración masiva de oxígeno que es equivalente a la cantidad de dicromato consumido por materia disuelta y en suspensión cuando una muestra (agua o lodo) se trata con ese oxidante en condiciones definidas. ^[49]

En 1949, Moore et al. Aplicó el procedimiento de dicromato al análisis de aguas residuales. La oxidación cuantitativa de compuestos se obtuvo calentando a reflujo la muestra durante 2 h con dicromato en una solución de ácido sulfúrico al 50% a 145-150 °C. Con este procedimiento, aproximadamente el 90% de la materia orgánica presente y la mayor parte del cloruro se oxidaron, pero se realizó una corrección requerido para el cloruro. ^[50]

El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO₅, porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse química, pero no biológicamente. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben de los microorganismos. La relación DBO₅/DQO indica la biodegradabilidad de

las aguas residuales urbanas: $DBO_5/DQO \geq 0,4$ Aguas residuales muy biodegradables
 $DBO_5/DQO 0,2 - 0,4$ Aguas residuales biodegradables $DBO_5/DQO \leq 0,2$ Aguas residuales
poco biodegradables. ^[51]

1.4.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La medición biológica "Demanda Bioquímica de Oxígeno" (DBO_5) fue seleccionada en 1908 como un indicador de la contaminación orgánica de los ríos por la Comisión Real del Reino Unido sobre la contaminación del río. El período tradicional de cinco días para estimar el parámetro DBO_5 se eligió para esta prueba porque supuestamente es el tiempo más largo que tarda el río para viajar desde su fuente hasta su estuario en el Reino Unido. ^[52]

Este parámetro se define como la cantidad de oxígeno, dividido por el volumen del sistema, absorbido por la actividad respiratoria de microorganismos que crecen en los compuestos orgánicos presentes en la muestra (por ejemplo, agua o lodo) cuando se incuba a una temperatura específica (por lo general $20\text{ }^\circ\text{C}$) durante un período fijo (generalmente 5 días, DBO_5). Es una medida de la contaminación orgánica del agua que puede degradarse biológicamente. En la práctica, generalmente se expresa en miligramos de O_2 por litro ^[53].

El DBO_5 tiene tres aplicaciones principales. En primer lugar, es un indicador de la conformidad de la descarga de aguas residuales y el procedimiento de tratamiento de residuos con las normas vigentes.

En segundo lugar, en las plantas de tratamiento de aguas residuales, la relación entre DBO_5 y DQO (demanda química de oxígeno) indica la fracción biodegradable de un efluente. En tercer lugar, la relación DQO / DBO_5 es un indicador del tamaño de una planta de tratamiento de aguas residuales requerida para una ubicación específica. Sin embargo, la principal desventaja de este enfoque es el momento requerido para su logro (5 días). ^[54]

Cómo evaluar DBO_5 :

La biodegradación aeróbica consiste en oxidar la materia orgánica biológicamente. Durante este proceso, la materia orgánica es convertida por microorganismos en biomasa microbiana, eventuales productos de transformación de la reacción de biodegradación (compuestos derivados de la materia orgánica inicial), CO_2 y H_2O . ^[55]

1.4.3. Sólidos suspendidos totales, Grasas y Aceites

Sólidos Suspendidos Totales (SST):

Es el material constituido por los sólidos sedimentables, los sólidos suspendidos y coloidales que son retenidos por un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm secado y llevado a masa constante a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Masa constante:

Es la masa que se registra cuando el material ha sido calentado, enfriado y pesado, y que en dos ciclos completos consecutivos presenta una diferencia $\leq 0,0005\text{ g}$.

Sólidos Disueltos Totales (SDT):

Es el material soluble constituido por materia inorgánica y orgánica que permanece como residuo después de evaporar y secar una muestra previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 1,5 μm a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):

Son aquellos sólidos suspendidos que se volatilizan en la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sólidos Totales (ST):

Es el residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sólidos Totales Volátiles (STV):

Cantidad de materia orgánica e inorgánica que se volatiliza por el efecto de la calcinación a $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[56].

Grasas y aceites:

En la determinación de grasas y aceites no se mide una cantidad absoluta de una sustancia específica; se determinan grupos de sustancias con características físicas similares con base en su solubilidad en el solvente. Así, el término "grasas y aceites" comprende cualquier material recuperado como una sustancia soluble en el solvente (n-hexano). Esto incluye otros materiales extraídos por el solvente de la muestra acidificada, tales como

compuestos azufrados, algunos colorantes orgánicos y clorofila, no volatilizados durante el ensayo. ^[57]

1.4.4. Temperatura

Varias industrias como la cervecera, el procesamiento de alimentos, la fermentación y el biocombustible generan corrientes de desechos líquidos a temperaturas muy altas. Tales efluentes necesitan enfriarse antes del tratamiento anaeróbico porque tales corrientes de líquido generalmente se tratan en condiciones mesófilas y / o termófilas, los intervalos de temperatura óptimos para los metanógenos. En muchos estudios se ha informado sobre un fuerte efecto de temperatura sobre la tasa máxima de utilización de sustrato de microorganismos. ^[58] Un cambio en la temperatura se acompaña de un cambio en las características físicas y químicas de las aguas residuales. No solo la solubilidad sino también la difusividad pueden afectar las condiciones de operación. La solubilidad de los compuestos gaseosos aumenta a medida que la temperatura disminuye. Esto implica que las concentraciones disueltas de CH_4 , H_2S y H_2 serán mayores en el efluente operado a temperaturas más bajas que las operadas a temperaturas más altas. ^[59]

1.4.5. Tiempo de residencia hidráulica

El tiempo de residencia hidráulica también se conoce como tiempo de retención hidráulica, una medida del tiempo promedio que el efluente industrial (líquido) permanece en un biorreactor. Por lo tanto, TRH también representa el tiempo en que la materia orgánica permanece en contacto con los microbios. En el campo de la ingeniería química / biológica, el término tasa de dilución (inversa de TRH) se utiliza a menudo en lugar de THR. ^[60]

1.5. Tratamientos de Aguas Residuales

1.5.1. Proceso Anaerobio

El tratamiento anaerobio de las aguas residuales no es nuevo. Se ha practicado durante mucho tiempo. En estos procesos, los lodos complejos pueden ser degradados eficientemente por microorganismos anaerobios en ausencia de oxígeno, generando un biogás rico en

metano para la energía la recuperación y el rendimiento de un lodo estabilizado que es adecuado para el uso de la tierra. ^[61]

El proceso anaeróbico ha sido ampliamente adoptado para la estabilización de residuos y la producción de bioenergía en los últimos años. Las primeras aplicaciones del proceso anaeróbico datan del siglo X, cuando los asirios usaban el biogás para calentar el agua del baño. ^[62] El proceso se hizo muy popular a finales del siglo XVIII para la digestión de desechos humanos (excretas). ^[63] Los avances en los procesos de microbiología y bioquímica en la tecnología anaeróbica han permitido sus aplicaciones a diversas corrientes de desechos diluidos. ^[64] Además, los avances en la ingeniería de procesos, especialmente una mejor comprensión de los diseños del digestor, y las innovaciones han permitido la aplicación de procesos anaeróbicos para tratar los efluentes industriales. Una de las ventajas del proceso anaeróbico frente a otros procesos biológicos de tratamiento de residuos es que requiere una cantidad mínima de macro / micronutrientes y produce un lodo significativamente bajo. ^[65] Stander fue el primero en presentar un innovador diseño de proceso anaeróbico que desacopló el tiempo de retención de sólidos (TRS) del tiempo de retención hidráulica (TRH) y abordó los desafíos asociados con la retención de biomasa y la inestabilidad del proceso. ^[66]

Biodegradabilidad de efluentes industriales

Los efluentes industriales no son todos igualmente biodegradables, incluso si tienen altos niveles de contenido. Los parámetros crudos como el carbono orgánico total, la demanda de bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos volátiles se usan tradicionalmente para cuantificar la materia orgánica en aguas residuales. Entre estos parámetros, DBO_5 , la medida de la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para degradar la materia orgánica, es la representación más precisa de la biodegradabilidad de las aguas residuales. ^[67]

1.5.1.1. Tratamiento de Aguas Residuales de Baja Resistencia

En los procesos anaeróbicos, la bioconversión de la materia orgánica en metano y biomasa se produce anaeróbicamente a través del metabolismo bacteriano. Los tres pasos básicos que participan en un proceso anaeróbico para obtener energía son la hidrólisis, la

fermentación / acetogénesis y la metanogénesis. ^[68] (Figura 7) El primer paso, la hidrólisis, implica la descomposición de compuestos orgánicos complejos de alto peso molecular en compuestos orgánicos simples de bajo peso molecular.

Estos compuestos orgánicos de bajo peso molecular se someten a la segunda paso de fermentación en el que son asimilados por bacterias (por ejemplo, acetógenos) y se convierten en algunos compuestos intermedios tales como hidrógeno, ácidos acéticos y otros ácidos grasos volátiles (AGV) tales como ácido propiónico y ácido butírico. En el tercer paso, la metanogénesis, estos compuestos intermedios se convierten en CO_2 , CH_4 y H_2O por un grupo de microorganismos, tales como metanógenos acetoclásticos y metanógenos que utilizan hidrógeno. ^[69]

Sin embargo, la mayoría de los primeros estudios se centraron en el tratamiento anaeróbico de aguas residuales de mediana a alta resistencia. A mayores concentraciones de sustrato, las ventajas de los tratamientos anaeróbicos superan a los tratamientos aeróbicos en términos de costo-beneficio como menor requerimiento de energía, menor producción de lodo y recuperación de energía del sistema y, por lo tanto, son favorecidos para aguas residuales de mediana a alta resistencia. ^[70]

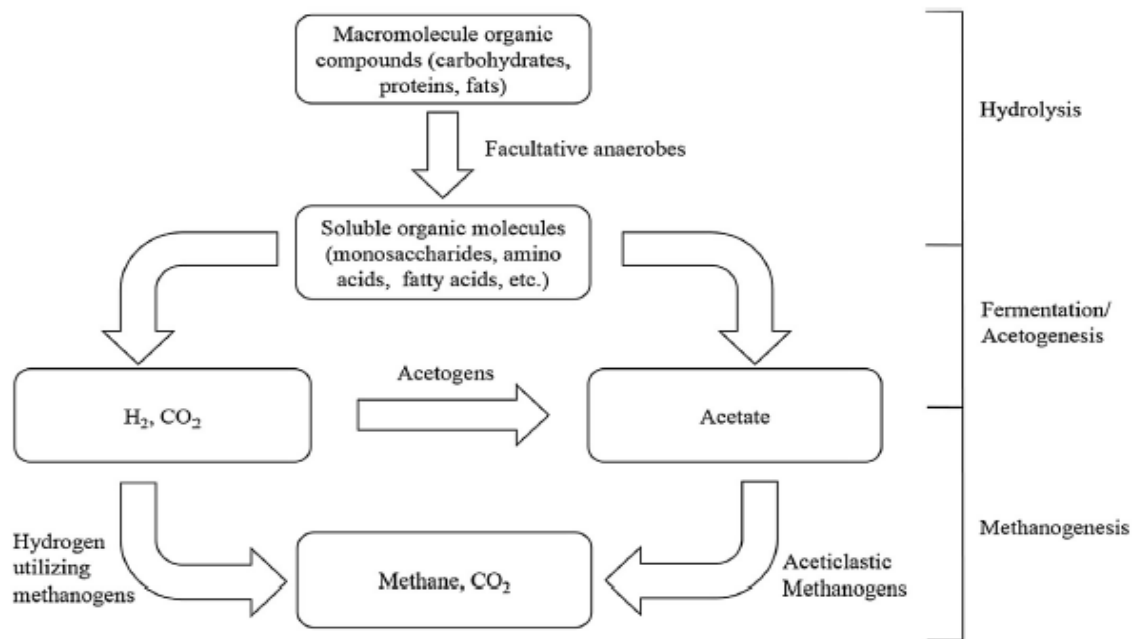


Figura 7. Vías metabólicas en la digestión anaeróbica ^[71].

1.5.1.2. Bacterias Anaerobias

Metabolismo microbiano

El metabolismo microbiano en el tratamiento de aguas residuales implica el uso de microorganismos para consumir materia orgánica como sustrato. Los compuestos orgánicos biodegradables se metabolizan y se convierten en dióxido de carbono, agua y energía para el crecimiento, el mantenimiento de las células y reproducción de los microorganismos. ^[72]

Metabolismo anaeróbico

Los mecanismos de los procesos anaeróbicos son mucho más complicados que los de procesos aeróbicos, debido a las muchas vías disponibles para una comunidad anaeróbica.

El ecosistema anaeróbico es el resultado de interacciones complejas entre organismos de varias especies. La bioquímica y la microbiología responsables de las reacciones no se comprenden por completo, pero durante los últimos 30 años varios investigadores han informado de un amplio esquema de los procesos. Se han desarrollado y adaptado varias técnicas para aislar y estudiar bacterias anaerobias. ^[73] Como se muestra en la Figura 8, el proceso se lleva a cabo por dos poblaciones bacterianas fisiológicamente distintas.

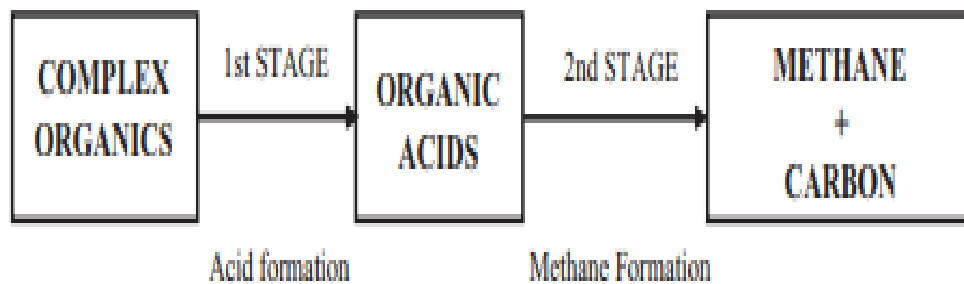


Figura 8. Digestión anaeróbica en dos etapas ^[73].

Hidrólisis

La hidrólisis y la licuefacción convierten compuestos orgánicos complejos insolubles en moléculas simples más pequeñas que pueden utilizarse como fuente de energía. Las proteínas, carbohidratos y lípidos de los biopolímeros se hidrolizan a aminoácidos, azúcares simples y ácidos grasos, respectivamente, mediante enzimas extracelulares.

El almidón y la celulosa son cuantitativamente los más importantes de estos polímeros. Los géneros de bacterias asociadas con la degradación de la celulosa son *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Clostridium*, *Cellobacterium* y *Butyrivibrio*. *Clostridium*, bacterias obligadas que son anaerobios estrictos sensibles al oxígeno, es el grupo principal. Producen esporas para sobrevivir bajo condiciones aeróbicas. [74]

Acidogenesis

Los productos finales de la primera etapa se convierten en ácidos volátiles de cadena corta, como ácidos acéticos, ácidos propiónicos y, en menor medida, ácidos butírico, valérico y caproico. [75] El acetato es considerado el intermediario más importante formado a partir de la fermentación de proteínas y grasas.

El hidrógeno y el dióxido de carbono también se forman. Los productos finales de la acidogénesis depende del sustrato inicial y las condiciones ambientales, especialmente la presión parcial de hidrógeno. La presión parcial baja en hidrógeno favorece la formación de acetato, dióxido de carbono e hidrógeno. La presión parcial alta de gas de hidrógeno favorece la formación de propionato y otros ácidos orgánicos superiores, lactato y etanol. [74]

Acetogenesis

La tercera etapa, la acetogénesis, consiste en dos grupos de bacterias, a saber, los acetógenos que producen hidrógeno y los homoacetógenos (que consumen hidrógeno).

Mientras que los acetógenos productores de hidrógeno catabolizan ácidos orgánicos, alcoholes y ciertos compuestos aromáticos en acetato y dióxido de carbono, los homoacetógenos usan hidrógeno y dióxido de carbono para formar acetato. Se cree que los homoacetógenos sintetizan solo el 1-2% del acetato total a 40 ° C. [76] El dióxido de carbono se puede reducir con hidrógeno para producir acetato y posteriormente utilizado en la producción de metano. Los ácidos grasos de cadena corta también se producen a partir del hidrógeno y el dióxido de carbono. Las bacterias homoacetogénicas son quimiolitotróficas que utilizan hidrógeno y dióxido de carbono con altas eficiencias termodinámicas.

Balch et al. [77] aislaron e identificaron a dos de estas bacterias homoacetogénicas, *Clostridium aceticum* y *Acetobacterium woodii*. Otros organismos responsables de la síntesis de acetato a partir del dióxido de carbono incluyen *Clostridium formicoaceticum* y *C. aceticum*. *Eubacterium limosum* es capaz de sintetizar butirato y acetato a partir de hidrógeno

y dióxido de carbono. Aunque el metabolismo homoacetogénico puede contribuir al mantenimiento de bajas presiones parciales de hidrógeno, los metanógenos que utilizan hidrógeno tienen una constante de sustrato inferior, K_s , valor para el hidrógeno. Teóricamente, deberían superar a los homoacetógenos por hidrógeno a las concentraciones prevalentes en un reactor estable.

Metanogénesis

Las bacterias metanogénicas pertenecen al grupo Archaeobacteria, un grupo filogenéticamente distinto.^[78] Una cantidad limitada de sustratos son utilizados por las 47 especies conocidas de bacterias metanogénicas. Se han identificado dos grupos principales de bacterias metanogénicas. El grupo 1 consta de 33 especies pertenecientes a las familias de *Methanobacteriaceae*, *Methanothermaceae*, *Methanococcaceae*, *Methanomicrobiaceae* y *Methanoplanaceae*. Estas especies reducen dióxido de carbono e hidrógeno y / o utilizan formiato en la formación de metano. El grupo 2 consiste en 14 especies que pertenecen a la familia de *Methanosarcinaceae*. Estas especies utilizan acetato, metilaminas y / o metanol. *Methanosarcina barkeri* y *Methanosarcina vacuolata* son los más versátiles, ya que utilizan todos los sustratos metanogénicos conocidos, excepto el formiato.

Todos los metanógenos obtienen energía para el crecimiento de la formación de metano. Más las bacterias metanogénicas (grupo 1) pueden utilizar hidrógeno y dióxido de carbono como su única fuente de energía^[77], pero se sabe que algunos se separan por acetato (metanógenos acetotróficos), por ejemplo, como los del grupo 2. El catabolismo más lento y la tasa de crecimiento de los metanógenos acetotróficos pueden limitar la tasa global de reacción^[79], lo que lleva a la acumulación de ácido acético a niveles tóxicos. Se piensa que la degradación de acetato a metano es el paso limitante en la conversión total de sustrato a metano.^[80] Los polímeros y las grasas complejas son la excepción; aquí la hidrólisis es el paso limitante de la velocidad.^[81]

1.5.1.3. Reacción en cadena de la polimerasa

Las herramientas de biología molecular pueden ayudarnos para identificar las poblaciones clave capaces de llevar a cabo procesos metabólicos específicos y sus funciones en procesos anaeróbicos.

Las técnicas biológicas tradicionales dependen de la cultura. Sin embargo, la mayoría de los microorganismos en estos sistemas aún no han sido cultivados. ^[82] Por otra parte, diferentes microorganismos interactúan entre sí a través de la competencia y la colaboración, que no se puede estudiar de forma aislada. ^[83]

La biblioteca de clones del gen 16S rRNA es una técnica popular para investigar la diversidad filogenética. Es una colección de secuencias de ADN, habitualmente derivadas de la amplificación por PCR, insertadas en un vector plasmídico y clonadas en una célula huésped bacteriana (por ejemplo, *Escherichia coli*).

Como los genes 16S rRNA casi completos pueden secuenciarse a partir de la biblioteca de clones, pueden proporcionar identificación de taxonomía a nivel de especie para microorganismos cultivados. Los miembros de los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* se detectaron comúnmente en una biblioteca de clones de ARNr 16S a partir de diferentes tipos de gránulos. ^[84]

Técnica basada en PCR

La amplificación por PCR de plantillas de ADN en muestras con cebadores de PCR específicos y el posterior análisis filogenético de las secuencias de ADN amplificadas es el método de elección para detectar cualquier microorganismo previamente conocido o desconocido o no cultivable en muestras ambientales. ^[85]

1.5.1.4. Tipos de reactores anaerobios

Los reactores anaeróbicos generalmente pueden clasificarse como sistemas de baja tasa o sistemas de alta tasa basados en la capacidad del proceso. Los reactores anaeróbicos de baja velocidad incluyen estanques de estabilización de residuos, tanques Imhoff, tanques sépticos y digestores anaeróbicos, que se han utilizado durante muchas décadas. ^[86] Estos procesos generalmente ocupan un gran espacio y tienen tasas de carga orgánica muy bajas y tiempos de retención hidráulica (TRH) muy largos (hasta 40-50 días). ^[87]

Estas características dan como resultado un alto consumo de tierra / espacio, que es desfavorable en comparación con el proceso de lodo activado ampliamente utilizado y otros procesos aeróbicos.

Con la introducción de nuevos diseños de reactores anaeróbicos ^[88], se han producido avances en los reactores anaeróbicos de alta velocidad con altas tasas de carga orgánica, bajas

TRH (<10 h) y un requisito de espacio reducido resultante. [60] Los tipos de reactores anaeróbicos de alta velocidad se muestran en las Figura 9 y 10.

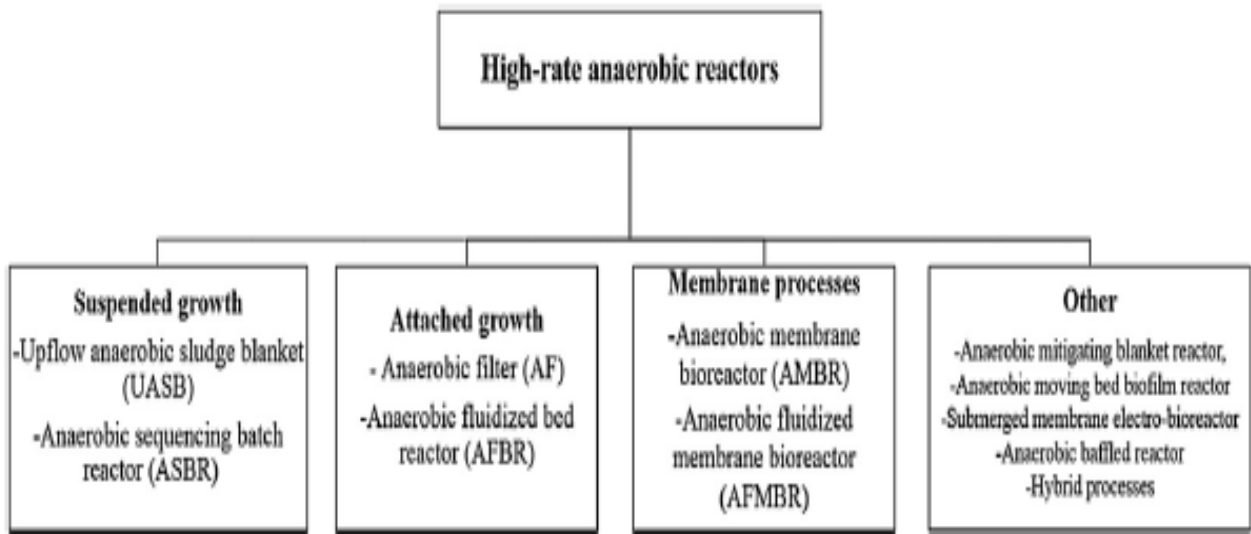


Figura 9. Tipos de reactores anaeróbicos de alta velocidad. [89]

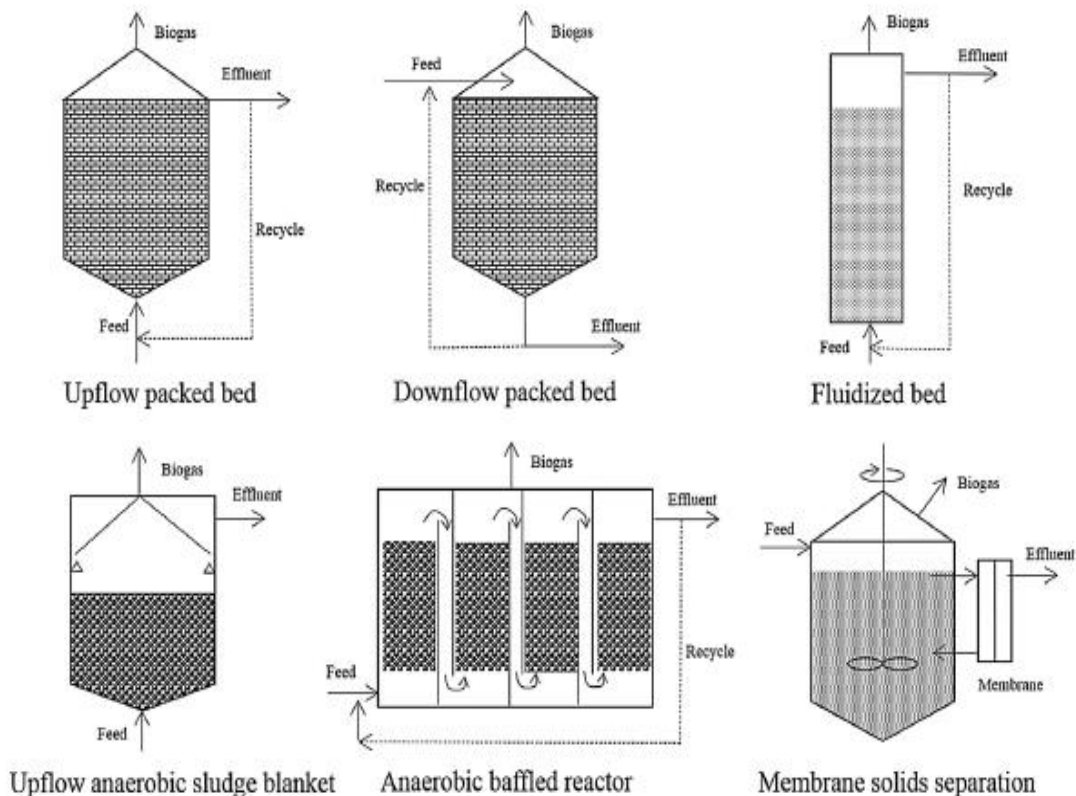


Figura 10. Varias configuraciones de reactores anaeróbicos. [90]

1.5.1.4.1. Biorreactor de membrana anaeróbica (AnMBR)

El desarrollo de AnMBR proporciona una solución prometedora porque AnMBR se combina con el proceso anaeróbico y la filtración de membrana para producir un efluente libre de sólidos mediante la retención completa de biomasa. ^[91] AnMBR también contribuye con un papel importante en la generación de energía debido a su capacidad de producir metano a partir de la utilización de una gran fracción de materia orgánica en las aguas residuales. Además, la huella y el espacio se pueden reducir al tiempo que se produce un efluente de calidad altamente mejorada ^[92]. Para el tratamiento de aguas residuales farmacéuticas basadas en químicos sintéticos, se hizo una comparación entre AnMBR y el reactor de membrana anaeróbica atrapada (AnBEMR) a diferentes tasas de carga orgánica (OLR) y comportamiento de ensuciamiento de la membrana. ^[91]

1.5.1.4.2. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB)

La manta de lodo anaeróbico de flujo ascendente (UASB) es con mucho el sistema anaeróbico de alta velocidad más utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales debido a su alta concentración de biomasa, diversidad microbiana, bajo costo, flexibilidad y capacidad de soportar fluctuaciones de pH y temperatura. ^[93]

El reactor UASB consiste esencialmente en un tanque con instalaciones para tres fases separación (líquido, sólidos y gas) en su parte superior como se muestra en la Figura 11.

El alimento se distribuye uniformemente desde el fondo del reactor a través de entradas espaciadas y pasa a través de la reacción donde hay un lecho de lodo anaeróbico con gránulos anaeróbicos (típicamente 0.5-2 mm de diámetro). Estos gránulos están hechos de múltiples especies microbianas, que típicamente se agrupan en tres capas básicas (enriquecidas con acidógenos, acetógenos y metanógenos, respectivamente) Figura 12. ^[70]

El diagrama esquemático de un reactor UASB se muestra en la Figura 13. El reactor consta de dos partes: una columna cilíndrica o rectangular y un separador gas líquido sólido (GLS). ^[94] El reactor UASB se siembra inicialmente (con inóculo como lodo digerido, anaeróbico, granular, floculento y activado). Los lodos entran desde el fondo del reactor. En condiciones apropiadas, las partículas ligeras y dispersas se lavarán mientras que los componentes más pesados se retendrán, minimizando así el crecimiento de lodos finamente

dispersos mientras se forman gránulos o flóculos que consisten en materia orgánica inorgánica, inorgánicos y pequeños agregados bacterianos en el lodo de siembra. [95] Después de un cierto período (usualmente 2-8 meses), dependiendo de las condiciones de operación y las características del agua residual y lodo de siembra, se desarrolla un lecho de lodo muy denso que puede ser de naturaleza granular o floculante con altas propiedades de sedimentación.

Por encima del lecho denso de lodo, hay una zona de manta de lodo con un crecimiento muy difuso y menores velocidades de fragmentación de partículas. A medida que el flujo pasa hacia arriba, los compuestos orgánicos solubles en el afluente se convierten en biogás que consiste principalmente en metano y dióxido de carbono. [96]

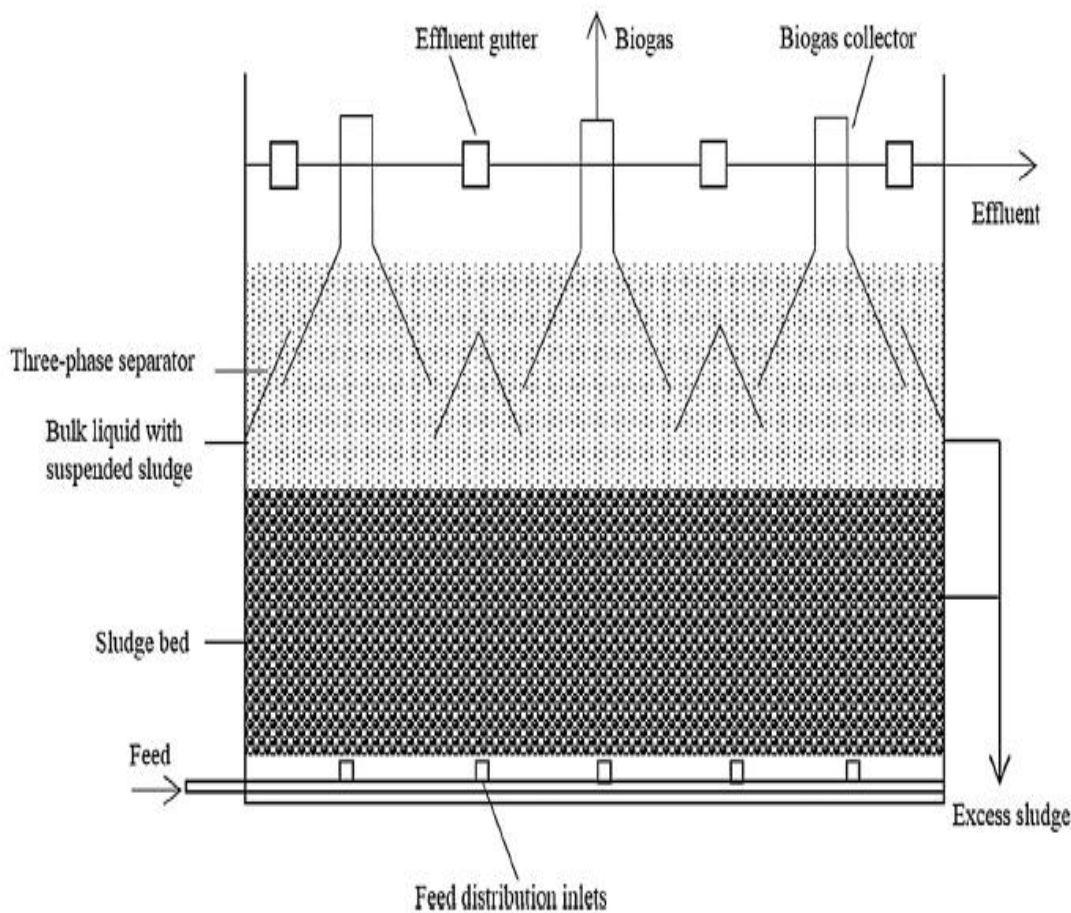


Figura 11. Representación esquemática de un reactor anaerobio de flujo ascendente. [94]

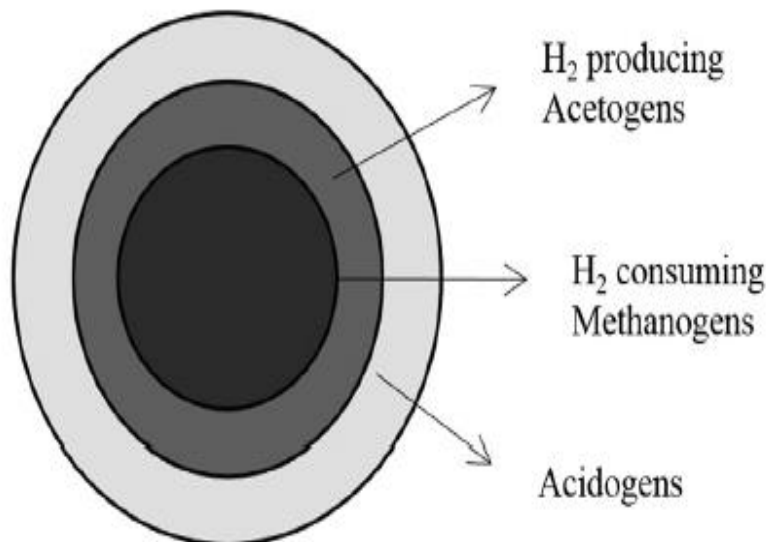


Figura 12. Aglomeración y agrupación de bacterias anaeróbicas en gránulos. [94]

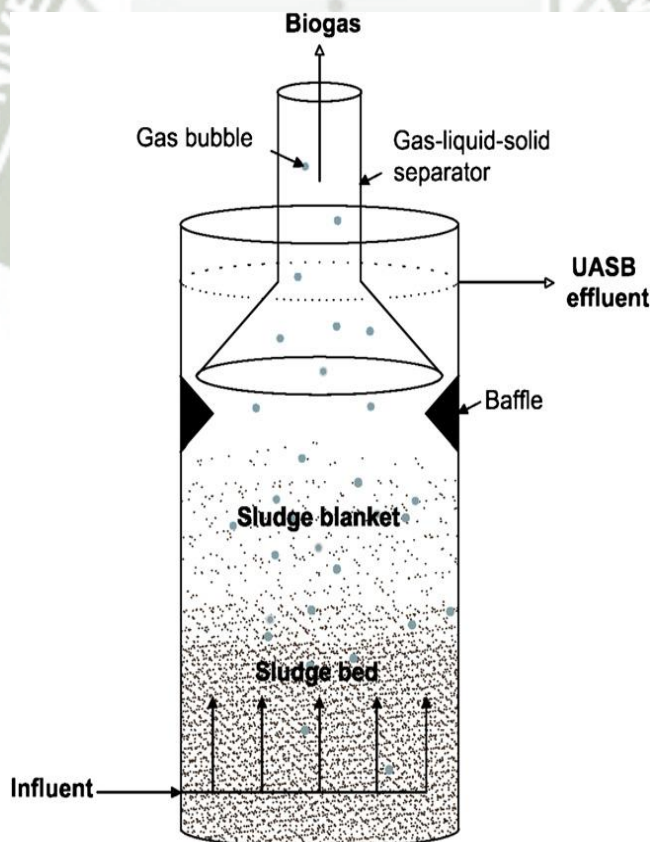


Figura 13. Dibujo de un reactor UASB. [94]

1.5.1.4.3. Reactor discontinuo de secuenciación anaeróbica (AnSBR)

El reactor discontinuo de secuenciación anaeróbica (AnSBR) es un tipo de proceso de lodo activado en el que se producen cinco etapas de proceso en un único reactor, concretamente relleno, reacción, sedimentación, decantación e inactividad en la relación de tiempo respectiva sin la presencia de oxígeno en condiciones oscuras. El efecto de diferentes dosis de antibiótico sulfametoxazol (SMX) sobre la utilización de ácidos grasos volátiles (AGV) y otros parámetros se estudiaron mediante AnSBR. ^[97]

1.5.1.4.4. Reactor anaerobio por lote secuencial (anaerobic sequencing batch reactor)

El ASBR es un proceso de tratamiento anaeróbico de alta velocidad desarrollado a principios de la década de 1990. ^[98]

La operación típica de un ASBR consta de cuatro pasos (Fig. 14): (1) un paso de alimentación en que las aguas residuales se alimentan al reactor, (2) un paso de reacción en el que se produce la eliminación de materia orgánica, (3) un paso de sedimentación en el que la biomasa se separa del agua, y (4) un paso de decantación en el que el agua residual tratada se retira con la biomasa retenida en el reactor. En el proceso ASBR, la geometría del reactor, el patrón de mezcla hidráulica y la intensidad, y la concentración de MLSS, así como la temperatura de operación, HRT y OLR, todos tenían la hipótesis de afectar el rendimiento del tratamiento. ^[99]

Los primeros estudios en el proceso de ASBR se llevaron a cabo en el tratamiento de aguas residuales de cerdos, lixiviados de vertederos y aguas residuales de almidón ^[100]. Se observó una buena bio-floculación, separación eficiente de sólidos, tiempos de retención de sólidos largos (SRT) y conversión eficiente de sustratos orgánicos a metano y dióxido de carbono como ventajas para ASBR. Para aguas residuales de baja resistencia (400-1000 mg DQO / L), se estudiaron los procesos de ASBR a diversas temperaturas (35, 25, 20 y 15 °C) y TRH (12, 16, 24 y 48 h). Incluso en la temperatura más baja (15 °C) y en la TRH más corta (12 h), se informó que la ASBR lograr más del 80% de eliminación total de DQO. ^[101]

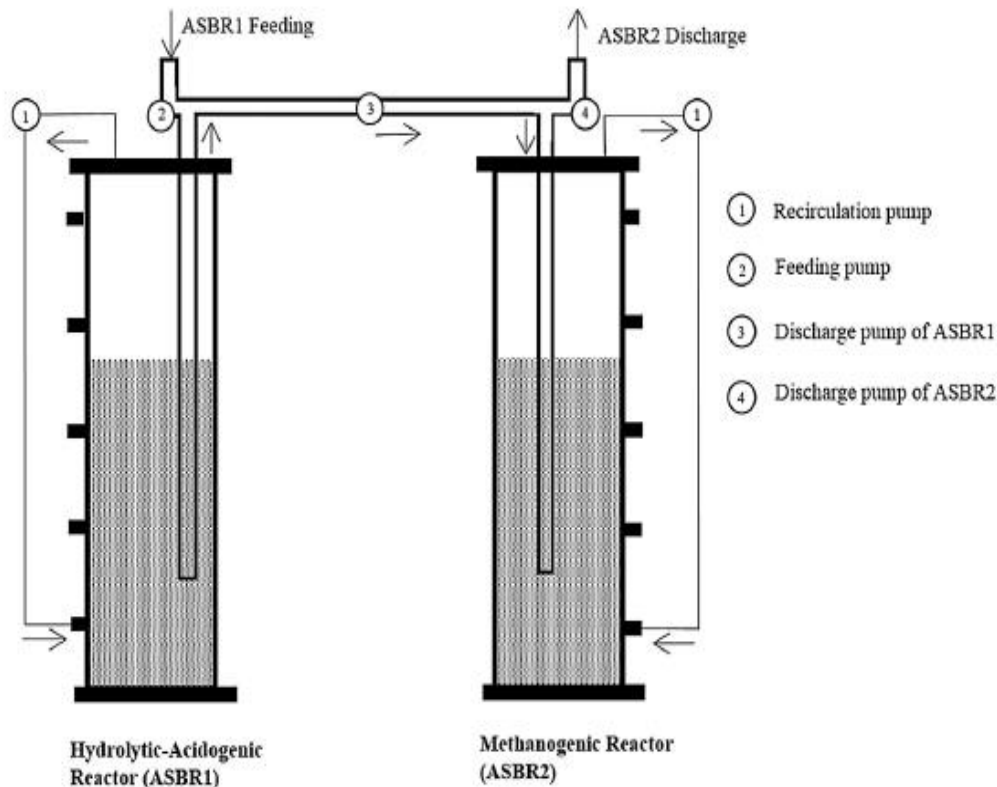


Figura 14. Reactor anaerobio por lote secuencial (ASBR). [100]

1.5.1.4.5. Filtros Anaeróbicos

Un AF es el equivalente anaeróbico de un filtro de goteo, pero opera bajo condiciones de inundación donde no hay contacto de aire con la biomasa, y los microorganismos en el reactor son estrictamente anaeróbicos. El concepto de FA se investigó por primera vez en 1957 para el tratamiento de aguas residuales. [102] El proceso fue olvidado en gran medida hasta su exitosa demostración por McCarty et al., En 1969, para el tratamiento de aguas residuales de carbohidratos proteicos (1500-6000 mg DQO / L) a 25 ° C a OLR de 0.96-3.40 kg / m³ / día. El reactor se construyó con agua residual de alimentación que fluye a través de una columna empacada con material de soporte para el crecimiento de la biopelícula. El proceso mostró un tratamiento eficiente de las aguas residuales con una producción mínima de lodo. [68] En los años siguientes, se realizaron más investigaciones sobre AF para el tratamiento de aguas residuales de mediana y alta resistencia, además de aguas residuales de baja resistencia. [103] La Figura 15 muestra los diagramas esquemáticos de varios tipos de AF reportados en la literatura dependiendo del modo de alimentación.

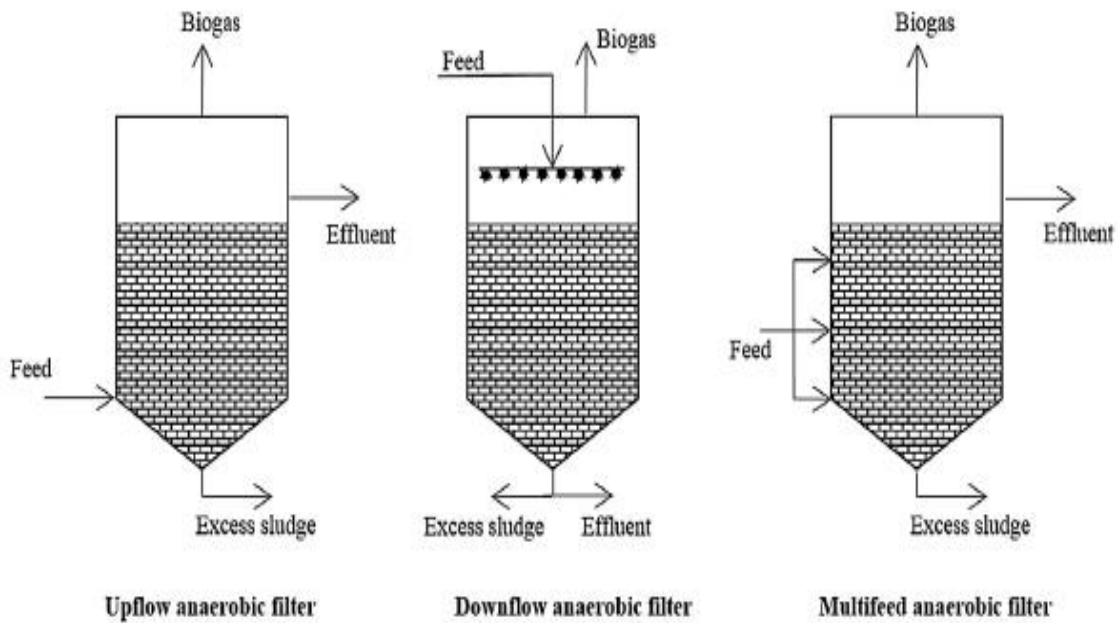


Figura 15. Diagramas esquemáticos de varios tipos de filtros anaeróbicos dependiendo de las características de alimentación. [68]

1.6. Procesos Aerobios

Sistema aeróbico:

El proceso básico de tratamiento es proporcionar un medio de alto contenido de oxígeno para que los organismos puedan degradar la porción orgánica de los desechos a dióxido de carbono y agua en presencia de oxígeno. Las unidades de tratamiento aeróbico, usan un mecanismo de inyección y circulación de aire dentro del tanque de tratamiento. Los sistemas aeróbicos usan procesos de tasas más rápidas, lo cual permiten que logren una mejor calidad del efluente. [104]

Lagunas aeróbicas: Son lagunas poco profundas (1 a 1,5 m), y suelen tener tiempo de resistencia elevada (20 – 30 días). El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes depende de los factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH de los nutrientes, la luz solar, la temperatura y pueden ser. [105]

- **Aerobias:** Con aireación natural, siendo el oxígeno suministrado por intercambio, a través de la interface aire-agua y fundamentalmente por la actividad fotosintética de las algas.

- Aireadas: En ellas la cantidad de oxígeno suministrada por medios naturales es insuficiente para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, necesitándose un suministro adicional de oxígeno por medios mecánicos.

Lagunas de oxidación o de estabilización: Es una pileta de tierra poco profunda de 1 a 2 metros, que se utiliza para el tratamiento biológico de diversos efluentes municipales e industriales. Las condiciones del estanque varían de aerobia a facultativas (en parte aeróbica, en parte anaeróbicas), y hasta anaeróbicas, dependiendo del suministro de aireación complementaria, de la profundidad del estanque y del grado de mezcla natural o inducida. Casi todos los estanques son facultativos, aquí los sólidos sedimentables retenidos sufren descomposición aerobia en el fondo del estanque que los residuos orgánicos solubles son transformados en CO_2 y agua para las bacterias aerobias de los niveles superiores. Las algas fotosintéticas utilizan el CO_2 y producen oxígeno para las bacterias (una relación simbiótica). [106]

Lagunas aireadas: Son depósitos donde se trata el agua residual a manera de flujo continuo sin recirculación de los sólidos. Tiene como principal tarea convertir la materia orgánica, mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos que aportan oxígeno. La turbulencia creada por los aireadores tiene como finalidad mantener en suspensión el contenido del depósito. Después de un tiempo de retención, en un periodo de 3 a 6 días, el efluente puede resultar hasta la mitad del DBO_5 de afluente. Por lo tanto, es necesario utilizar posteriormente un tanque decantador para eliminar mayor material orgánico por gravedad. Se debe tener en consideración para el diseño de una laguna aireada, la eliminación de DBO_5 , las características del efluente, la demanda de oxígeno, el efecto de temperatura, la demanda energética para el mezclado y la separación de sólidos. [107]

Lagunas anaeróbicas: Cuando la carga orgánica aumenta, la DBO_5 excede la producción de oxígeno de las algas y las lagunas se tornan anaeróbicas. Según Sáenz [105], los mecanismos de la descomposición anaeróbica son sumamente complejos y aún no están completamente aclarados. En el proceso anaeróbico las bacterias suelen aprovechar parte de los nutrientes inorgánicos en la fabricación de su propio protoplasma celular, lo que también puede suceder en el proceso aeróbico. Tienen una profundidad de 2-5 m y reciben cargas orgánicas volumétricas mayores a $100 \text{ g de } \text{DBO}_5/\text{m}^3 \text{ día}$. Estas altas cargas orgánicas

producen condiciones anaerobias estrictas (OD ausente) en todo el volumen de la laguna. Las lagunas anaerobias trabajan como tanques sépticos abiertos y trabajan bien en climas calientes. Pueden alcanzar remociones de hasta el 60%, a temperaturas de 20°C.

Lagunas facultativas: Son aquellas que tienen una zona aerobia y otra anaerobia (superficie y fondo, respectivamente). La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes. Según Sáenz ^[105], cuando la carga orgánica aplicada a las lagunas es baja (entre 50 y 350 kg DBO₅/Ha/día, a alturas moderadas y temperaturas entre 10 y 30°C), el estrato superior de las lagunas se llena de algas microscópicas que, en presencia de la luz solar producen grandes cantidades de oxígeno, haciendo que el agua llegue a estar sobresaturada de OD. El estrato inferior de estas lagunas suele estar en condiciones anaeróbicas debido a que la penetración de la luz solar es limitada, 5 a 15 cm.



Capítulo II: Materiales y Métodos

2.1. Materiales

2.1.1. Muestra.

Agua residual procedente del lavado de lana de oveja de la industria textil.

2.1.2. Material de Laboratorio.

Equipos.

Autoclave, CVQ-280D

Balanza analítica, Ohaus Adventurer AR31.

Balanza, Scout TM Pro

Centrífuga de tubos eppendorf, Gemmy.

Horno de Secado, PSelecta.

Incubadora de CO₂, Eppendorf New Brunswick Galaxy 48 R

Incubadora, PSelecta.

Microscopio, Labomed.

Shaker, Orbital SK-O300-Pro

Fotocolorímetro Dr 900 Hach.

Termoreactor Drb 200 Hach

Material de laboratorio.

Asa de Kohl.

Cámara de Neubauer.

Cinta indicadora de pH, Merck.

Equipo de filtración al vacío.

Espátula.

Micropipeta de 10 μ L - 100 μ L.

Micropipeta de 100 μ L - 1000 μ L.

Puntas amarillas (Para Micropipeta de 10 μ L - 100 μ L).

Puntas azules (Para Micropipeta de 100 μ L - 1000 μ L).

Tubos eppendorf de 1.5 mL.

Material de vidrio.

Frascos de vidrio tapa azul de 100 mL,

Láminas portaobjetos.

Matraz Erlenmeyer de 100 mL, 500 mL.

Placas Petri de 20 mL.

Probeta de 50mL, 100 mL.

Tubos de ensayo de 20 mL.

Frascos Winkler

Reactivos.

Kit para tinción de Gram.

Sulfato de Magnesio, p.a. Merck

Cloruro de Calcio, p.a. Merck

Cloruro Férrico, p.a. Merck

Fosfato Monobásico de potasio, p.a. Merck

Fosfato dibásico de potasio, p.a. Merck

Fosfato dibásico de sodio, p.a. Merck

Cloruro de Amonio, p.a. Merck

Ácido Sulfúrico

Dicromato de Potasio, p.a. Merck

Sulfato de Mercurio, p.a. Merck

Medios de cultivo.

Agar agar, Merck.

Agar sangre, Merck.

Caldo tioglicolato, Merck.

Otros.

Agua estéril.

Alcohol.

Algodón.

Bomba sumergible, Flow rate.

Depósito de plástico de 3 L.

Frascos para muestra de 20 mL.

Gasa.

Bombas de aire de pecera, Ap-200

2.2. Métodos

2.2.1. Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias nativas a partir del agua residual del lavado de lana de oveja.

2.2.1.1. Obtención de la muestra.

Se tomaron muestras de agua residual del lavado de lana de oveja de una textilera ubicada en el sector Zamacola-Cerro Colorado-Arequipa, se tomó muestras de dos puntos dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento, del efluente y de los lodos extraídos del sedimentador. Las muestras fueron rotuladas con la denominación: Efluente y Lodo referenciando a los puntos de muestreo (Figura 16).



Figura 16. Puntos de Muestreo.

2.2.1.2. Aislamiento de cepas nativas del agua residual del lavado de lana de oveja.

Se preparó caldo tioglicolato en tres tubos de ensayo de 10 mL, se siguió la metodología descrita en el Anexo 1 y se inoculó con 1 mL de la muestra Efluente y para el caso de la muestra denominada Lodo al ser sólida se disolvió en un tubo de ensayo con agua estéril y luego se inoculó con 1 mL en el caldo tioglicolato. Se dejó en la incubadora a 37°C por siete días.

Luego de 7 días se observó los tubos y con la ayuda de una asa de kohl se sacó una muestra del fondo del tubo y se sembró en placas que contenían Agar Sangre (la preparación se describe en el Anexo 2).

Luego se colocaron las placas en una incubadora que provee de una atmósfera anaerobia con 5% de CO₂ a 37°C por siete días; se realizaron varios repiques hasta conseguir cepas puras, luego se realizó la Tinción de Gram^[108] explicada en el Anexo 3.

2.2.1.3. Identificación de cepas anaerobias.

Se preparó medio sólido de caldo tioglicolato, se siguió el mismo procedimiento del Anexo 1, además se le agregó agar-agar para que el medio sea sólido en una relación de 15 g/L. Se sembró por punción, y se colocaron los tubos en la incubadora de CO₂ a 37°C por siete días.

2.2.1.4. Elaboración de curvas de crecimiento de cepas nativas.

Se preparó caldo tioglicolato como indica el Anexo 1, se sembraron las cepas que se identificaron como anaerobias Oveja 1 y Oveja 2 en frascos de 250 mL, se colocaron a la incubadora de CO₂ y se tomaron muestras cada 12 horas por 10 días conservándolas en refrigeración.

Se pesaron tubos eppendorf según la cantidad de muestras que se obtuvo, luego se les agregó 1 mL de muestra y se centrifugaron por 5 minutos a 5000 rpm, se eliminó el sobrenadante y se pesó el tubo eppendorf con el pellet formado, por diferencia de pesos se

halló la masa. Además, se realizó el conteo celular con la ayuda de una cámara de Neubauer colocando 10 μ L de la muestra.

2.2.1.5. Identificación molecular de cepas nativas anaerobias con capacidad de remoción.

A las bacterias seleccionadas por su capacidad de remoción se les realizó la identificación molecular. La identificación consiste en la extracción de ADN de la muestra usando el Kit “The MasterPure™ DNA Purification Kit” que provee todos los reactivos necesarios para la recuperación de ADN.

Luego el ADN es utilizado como molde para amplificar la región 16S RNAr mediante la tecnología de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). La amplificación correspondiente a la región del gen 16s RNAr se llevó a cabo usando los primer universales 27F y 1492R. Con las siguientes condiciones de PCR: 95°C por 30 seg, 50°C por 30 seg, 72°C por 45 seg.

Los productos de PCR fueron purificados usando el kit Qiagen PCR purification, siguiendo las instrucciones de la compañía y finalmente secuenciados usando la técnica de Sanger que utiliza colorantes Big Dye V3.1 y leídos en un equipo ABI 3730xl.

2.2.2. Diseño y construcción del biorreactor UASB.

Se realizó el diseño del biorreactor UASB, considerando una relación de 4:1 en la altura y el ancho para un volumen total de 42 L. Se consideró hacer un biorreactor rectangular para que sea más fácil la construcción de la campana GLS. Se colocó tres llaves en una cara lateral del biorreactor. La campana GLS se diseñó siguiendo el modelo detallado por Márquez & Martínez^[109] los cuales indican una serie de cálculos para el diseño de la campana y de los deflectores, las ecuaciones se muestran en el Anexo 4.

Además, se inoculo con 4 kg de lodo procedente de la industria textil y con un litro de caldo tioglicolato (Anexo 1) que contenía nódulos bacterianos.

2.2.3. Determinación de parámetros en un reactor UASB.

Se establecieron algunas condiciones para el funcionamiento del biorreactor UASB, las cuales se detallan a continuación.

2.2.3.1. Determinación del caudal (Q).

Se utilizó el método volumétrico para determinación de caudal ^[110], para lo cual en la llave de salida del biorreactor se colocó una probeta de 250 mL y con un cronómetro se tomó un minuto; lo que permitió determinar el caudal en L/minuto a la más baja velocidad que se pudo colocar para el flujo de entrada del biorreactor.

2.2.3.2. Determinación de la velocidad ascensional (Va).

La velocidad ascensional (Va) ^[111] está definida por la siguiente fórmula:

$$Va = \frac{Q}{A}$$

(Ec.1)

Donde:

Va: Velocidad ascensional (m/h)

Q: Caudal en el biorreactor (m³/h)

A: Área seccional transversal del biorreactor (m²)

2.2.3.3. Determinación del Tiempo de residencia hidráulica (TRH).

Para esta medición se usó los valores antes hallados y usando la siguiente ecuación ^[112] se determinó el tiempo que demora el agua residual desde el ingreso hasta la salida del biorreactor.

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

(Ec.2)

Donde:

TRH: Tiempo de residencia hidráulica (h)

V: Volumen del biorreactor (m³)

Q: Caudal en el biorreactor (m³/h)

2.2.4. Establecimiento de parámetros de tiempo de residencia hidráulica e inyección de aire para el proceso aerobio.

Para el tiempo de residencia hidráulica se estableció un tiempo de 5 días tal como lo describe Bakare et al ^[120] en su trabajo.

Se adquirió un recipiente para la digestión aerobia, de 20 litros de capacidad, se colocaron dos bombas de pecera conectadas a mangueras de plástico a las cuales se les hizo pequeños agujeros para facilitar la difusión del aire. El caudal de la bomba fue de 8L/min de Aire según las especificaciones de la bomba. En el tanque se procesó el agua previamente tratada en el reactor anaerobio.

2.2.5. Análisis de parámetros iniciales y finales.

2.2.5.1. DQO: En un tubo de ensayo especial se colocó 0.5 mL de muestra y se le agregó 1.5 mL de solución Digestora (detallada en el Anexo 5) y 3.5 mL de solución de Ácido Sulfúrico. Para el blanco se colocó 0.5 mL de agua destilada y se le agregó 1.5 mL de solución digestora y 3.5 mL de solución de Ácido Sulfúrico. Luego se llevó a un baño de aceite por dos horas a 150°C, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 600 nm.

2.2.5.2. DBO₅: En un frasco de un litro se colocó 1 mL de buffer fosfato, 1 mL de Sulfato de Magnesio, 1 mL de Cloruro Calcio y 1 mL de Cloruro Férrico (Todos estos reactivos se detallan en el Anexo 6). Luego se enrasó con agua destilada, se oxigenó durante dos horas. Luego en frascos Winkler o de tapa azul se colocó 1 mL de muestra y se enrasó con el preparado inicial. Se preparó el blanco en otra botella agregando 1 mL de agua destilada y se enrasó con el preparado inicial. Se midió el Oxígeno Disuelto que servirá como dato inicial con la ayuda de un oxímetro, luego se guardó la muestra por cinco días en oscuridad. Luego de los cinco días se volvió a medir el Oxígeno Disuelto y se obtuvo el valor de DBO₅.

2.2.5.3. SST: Se homogenizó la muestra mediante agitación vigorosa del envase. Luego con la ayuda de un Filtro en un equipo de vacío, se procedió a filtrar la muestra, luego

se retiró el papel filtro y se registró el peso con la ayuda de una balanza siendo el valor inicial, luego se llevó a una estufa a 105°C durante 2 horas, luego de las 2 horas se volvió a pesar y se obtuvo el valor final. [56]

2.2.5.4. Grasas y aceites: Primero se preparó el lecho filtrante, que consiste en cortar un pedazo de tela y colocarlo en el embudo buchner y sobre esta se colocó papel filtro, luego se filtró 100 mL de suspensión de ayuda (tierra diatomea) y se lavó con agua destilada. Luego para la filtración y la extracción, se filtró la muestra a través del lecho filtrante, luego se dobló el papel filtro y se llevó al extractor Soxhlet, luego se colocó en un baño de aceite a 110°C por cuatro horas. Luego determinar el peso final. [57]

2.2.6. Evaluación del tratamiento Anaerobio/Aerobio:

Después de haber terminado el proceso tanto anaerobio-aerobio, se realizó una evaluación del proceso, comparando los datos finales obtenidos con los VMA que proporciona el DS N° 001-2015 Vivienda y también hallando el pago adicional por exceso de concentración de los parámetros fijados en el Anexo N°1 del DS N°001-2015. Esto se detalla en el Anexo 7.

Además se determinó el % de Remoción^[113] para cada parámetro con la siguiente formula.

% Remoción:

$$\frac{(\text{Parametro afluente} - \text{Parametro efluente})}{(\text{Parametro afluente})} \times 100$$

(Ec. 3)

Capítulo III: Resultados y Discusión

3.1. Aislamiento, caracterización e identificación de bacterias nativas del agua residual del procesamiento de lana de oveja.

3.1.1. Aislamiento de cepas nativas en muestras de agua residual del lavado lana de oveja.

El caldo tioglicolato nos permite identificar el tipo de microorganismo que se encuentra debido a que el crecimiento se da en tres zonas dentro del tubo, en el fondo se ubican las bacterias anaerobias, en el medio las facultativas y en la parte superior las aerobias. Luego de los 7 días de estar en la incubadora se observó crecimiento en las tres zonas como lo muestra la Figura 17.

Para la siembra en Agar Sangre se tomó la muestra de la parte inferior del tubo que es donde se encuentran las bacterias anaerobias de interés. Luego de la siembra se obtuvo cinco cepas a las cuales se les denominó: Oveja 1, Oveja 2, Oveja 3, Oveja 4, Oveja 5. En la Figura 18 Se observan las placas de agar sangre con cada una de las cepas puras.



Efluente Lodo
Figura 17. Muestras en caldo tioglicolato.

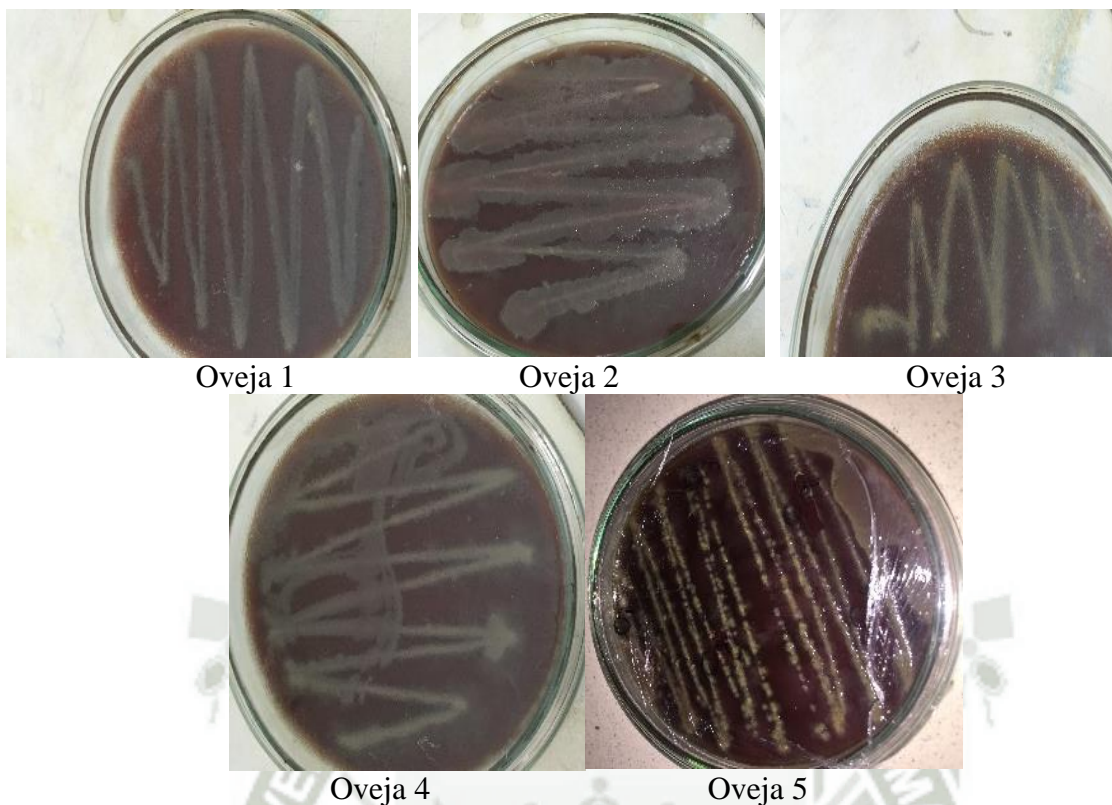


Figura 18. Cepas en agar sangre.

A las cinco cepas se les realizó la tinción de Gram para saber su morfología y de qué tipo son: Positivas o Negativas, los resultados se muestran en la Tabla 5 y en el Anexo 8 se muestra las fotos con las morfologías

Tabla 5. Resultados de la Tinción de Gram

N° de Cepa	Nombre	Morfología	Gram
1	Oveja 1	Estafilococos	Positivo
2	Oveja 2	Estreptococos	Positivo
3	Oveja 3	Estafilococos	Negativo
4	Oveja 4	Estafilococos	Negativo
5	Oveja 5	Estreptococos	Negativo

Jenicek et al, ^[114] Reporto la importancia de bacterias gram positivas en la digestión anaerobia para tratamientos de aguas residuales, lo que nos indica que la cepa Oveja 1 y

Oveja 2, podrían ser usadas para el tratamiento del agua residual procedente del lavado de lana de oveja.

3.1.2. Identificación de cepas con capacidad de remoción.

Las bacterias anaerobias aisladas del agua residual deben poseer un porcentaje de remoción alto, para que puedan participar en alguna etapa de las vías metabólicas de la digestión anaeróbica, de esta forma son degradadoras de la materia orgánica.

Al utilizar el caldo tioglicolato y agregarle agar-agar, observamos la ruptura del agar, evidenciando que participan dentro del proceso de metanogénesis por lo cual son útiles.

De las cinco cepas aisladas solo las cepas Oveja 1, 2 tienen la capacidad de remoción de materia orgánica o participan dentro de alguna de las etapas de la metanogénesis, los resultados se muestran en la Tabla 6 y las fotos se muestran en el Anexo 9.

Tabla 6. Resultados de la ruptura del medio tioglicolato

Cepa	Ruptura del Medio
Oveja 1	Si
Oveja 2	Si
Oveja 3	No
Oveja 4	No
Oveja 5	No

3.1.3. Elaboración de curvas de crecimiento de cepas nativas.

A las dos cepas identificadas como Oveja 1 y Oveja 2 para cada cepa se realizó su curva de crecimiento para identificar su fase exponencial. La Figura 19 y la Figura 20 muestran las curvas de crecimiento relacionando el N° de bacterias vs tiempo; y en las figuras 20 y 21 se muestra la masa vs tiempo.

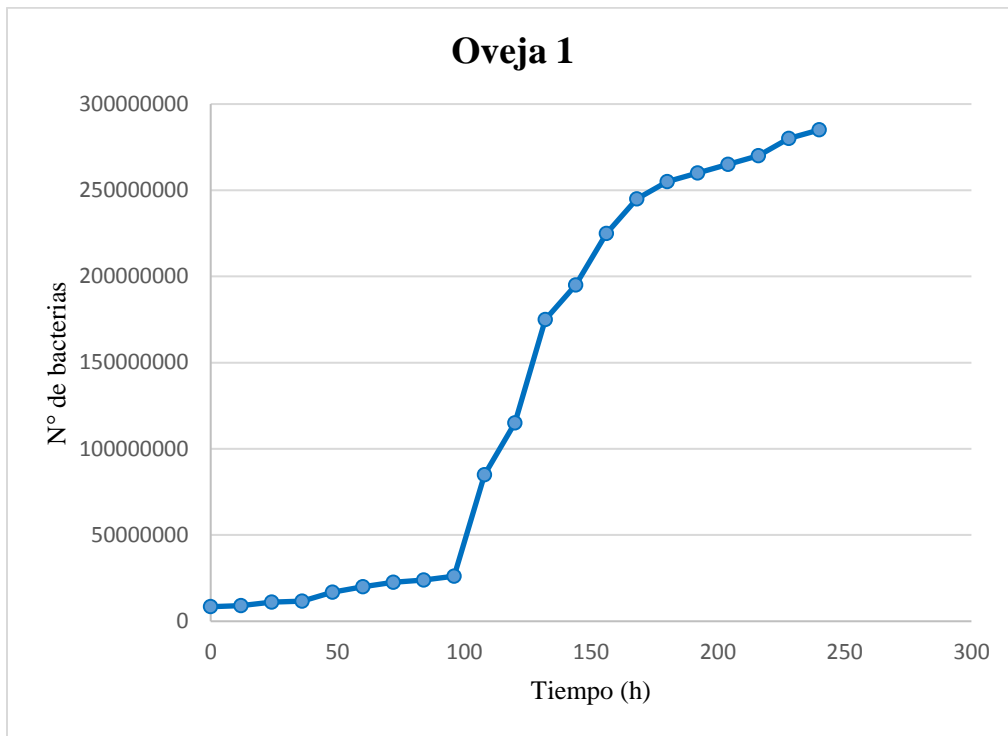


Figura 19. Grafica del N° bacterias vs tiempo de la Cepa Oveja 1.

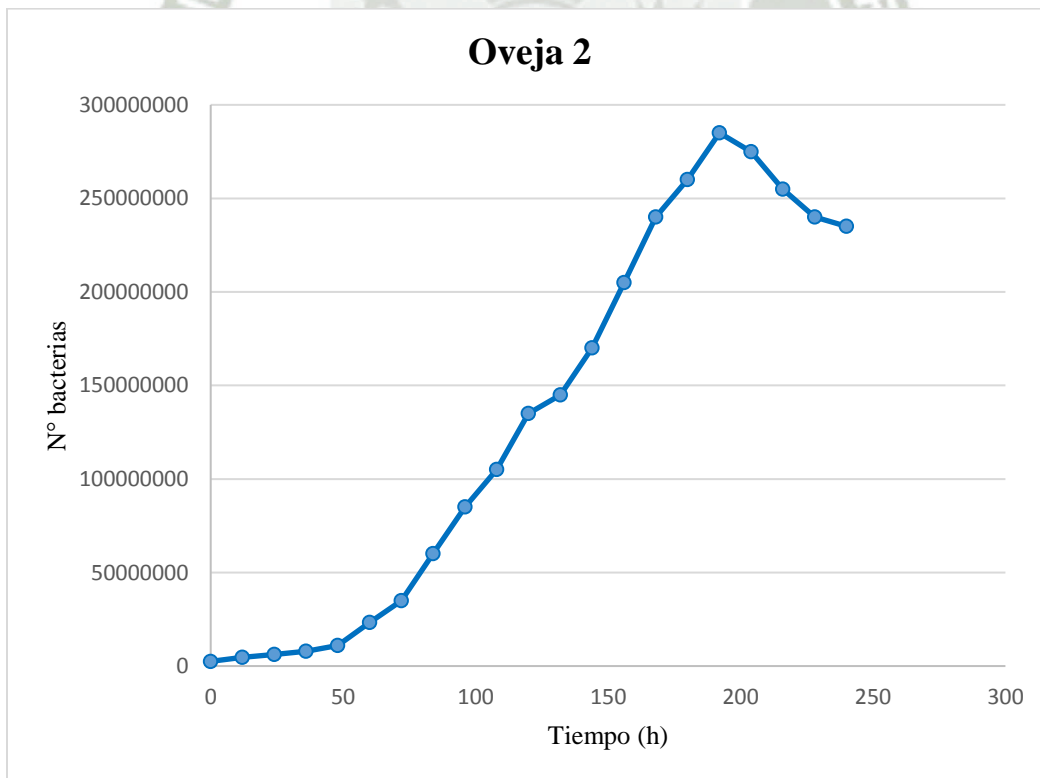


Figura 20. Grafica del N° bacterias vs tiempo de la cepa Oveja 2.

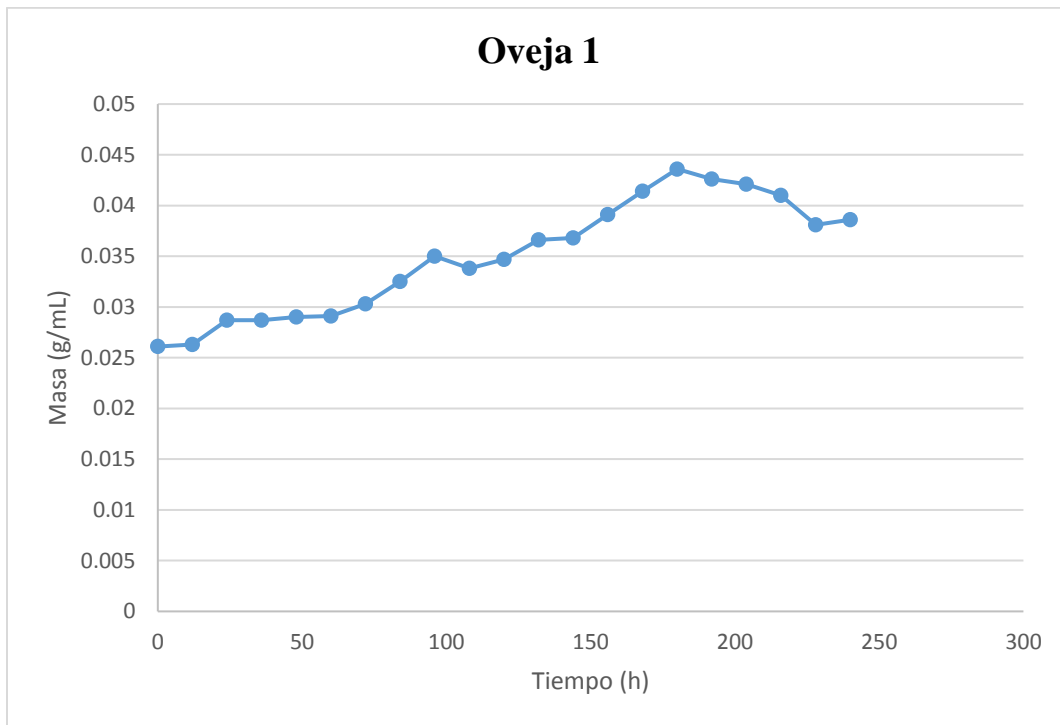


Figura 21. Grafica de la masa vs tiempo de la Cepa Oveja 1.

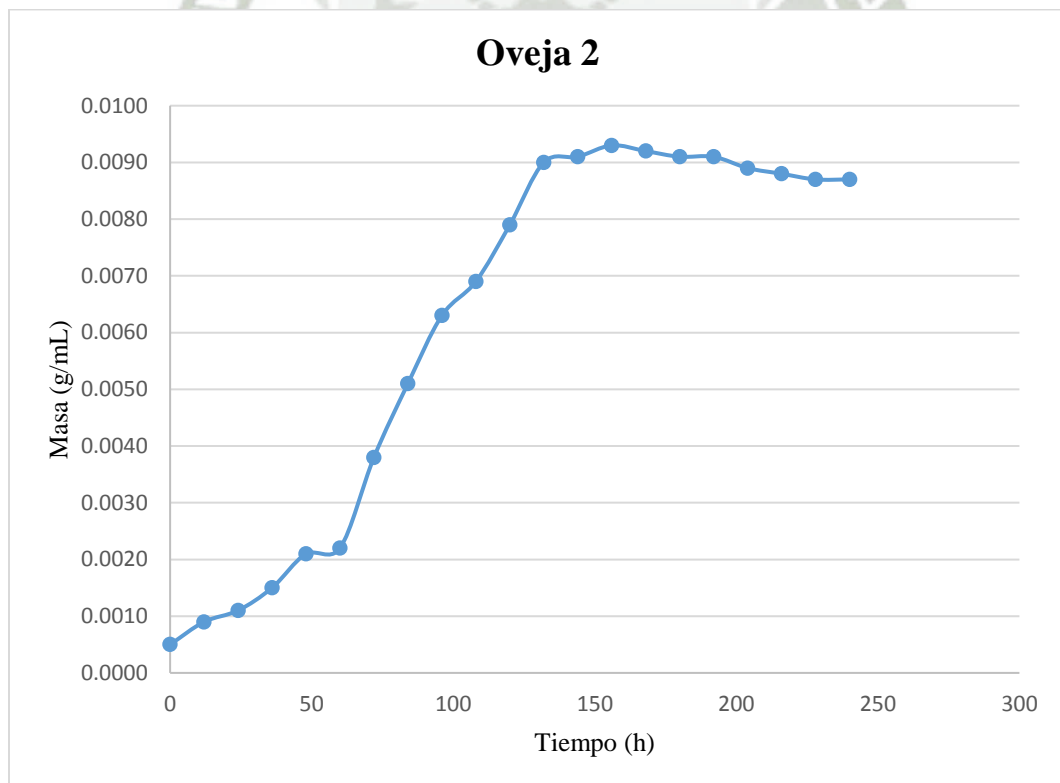


Figura 22. Grafica de la masa vs tiempo de la cepa Oveja 2.

Ambas cepas Oveja 1 y Oveja 2 en un tiempo de 6 días y medio se observa que las bacterias entran en la etapa estacionaria de su crecimiento; esto se puede observar en las Fig. 23 y 24 se muestran las curvas de crecimiento por cada cepa relacionando el Ln N° de bacterias con el tiempo, donde se distinguen tres de las cuatro etapas de desarrollo bacteriano; la fase de latencia, la fase exponencial y la fase estacionaria.

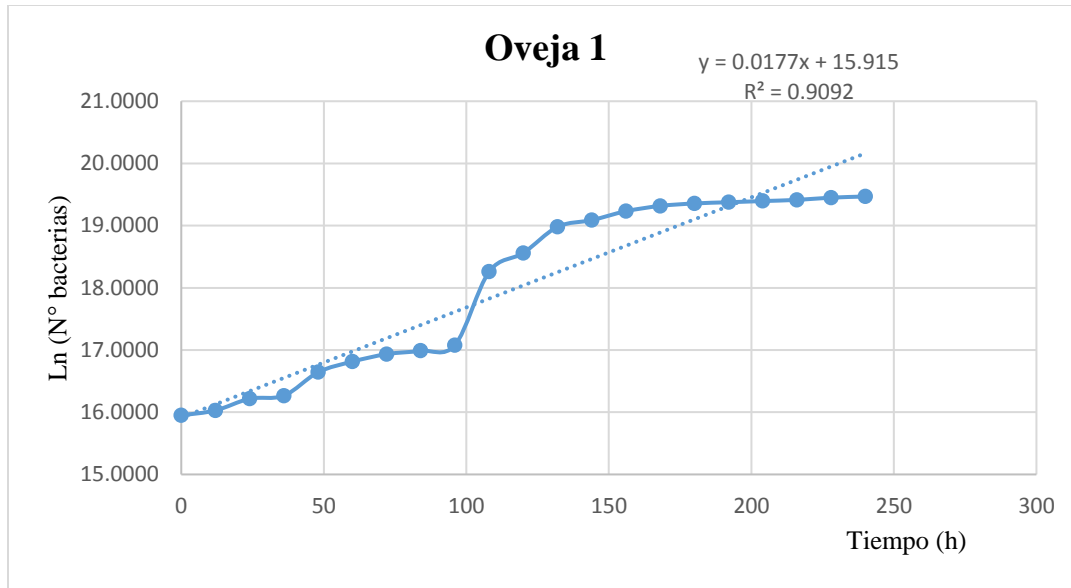


Figura 23. Curva de crecimiento bacteriano para la Cepa Oveja 1

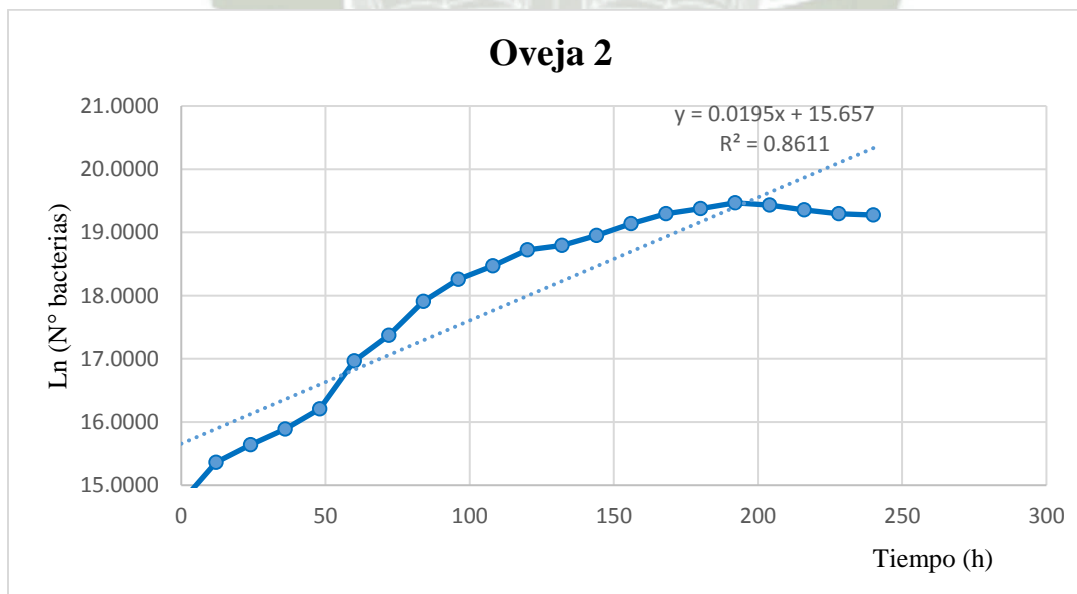


Figura 24. Curva de crecimiento bacteriano para la Cepa Oveja 2.

3.1.4. Identificación molecular de cepas nativas anaerobias con capacidad de remoción.

Teniendo la secuencia de las cepas aisladas, se utilizó el BLAST de NCBI para conocer su porcentaje de homología con otras bacterias. Los resultados se muestran en la Tabla 7. Ambas bacterias pertenecen al mismo género. En el Anexo 10 se muestran la secuencia Fasta y el árbol filogenético.

Tabla 7. Resultados de secuenciación de cepas

N° de Cepa	Nombre	Género y Especie con mayor homología	% homología
1	Oveja 1	<i>Kurthia gibsonii</i>	100
2	Oveja 2	<i>Kurthia sp.</i>	99

La cepa *Kurthia sp.* Ha sido usada para la degradación de un herbicida llamado “cinosulfuron”, utilizando este herbicida como fuente de nitrógeno, indicando que la cepa tiene un gran potencial para la degradación de compuestos tóxicos. ^[115] Anne Kahcu et al, ^[116] describe en su trabajo la remoción de compuestos fenólicos utilizando la cepa *Kurthia sp.*, indicando que la cepa tiene la capacidad de degradar diferentes compuestos orgánicos, lo cual indica que es una cepa que tiene un gran potencial de remoción de contaminantes.

3.2. Diseño y construcción del biorreactor UASB

Se diseñó el biorreactor UASB de forma rectangular con 16.5 cm de ancho y una altura de 155 cm; esto para mantener la relación de 4:1 y obtener un volumen total dentro del biorreactor de 42 L; se colocaron tres llaves a un lado del biorreactor, las tres a 45 cm desde la base, la llave inferior y central se usaron para tomar muestras y la superior se usó para la salida del efluente para su recirculación.

Se mandó a construir el biorreactor en acero. En la figura 25 y 26 se muestra tanto el diseño y el biorreactor construido.

El ingreso del efluente se da por la parte inferior del biorreactor usando una manguera de 1/4 pulgada; conectado a un pequeño recipiente de capacidad de 3 L, el cual permitirá la

recirculación, utilizando una bomba de pecera, y la salida se dará por la parte superior del biorreactor regresando al recipiente. En el Anexo 11 se muestran los planos.

Para el diseño de la campana GLS y de los deflectores se siguió el método detallado por Márquez & Martínez ^[109] y considerando las recomendaciones de Lettinga & Hulshoff Pol ^[94] partiendo de la consideración de la velocidad ascensional de 0.4 m/h. Se obtuvo valores para la campana de 7.1 cm de radio y una altura de 7.7 cm, para el tubo de salida un valor de 6.5 cm y para los deflectores se obtuvo un ancho de 2.85 cm y una longitud de 5.7 cm. Estos valores se muestran en los planos del biorreactor UASB en el Anexo 11 y los cálculos para el diseño de la campana GLS se muestran en el Anexo 12.

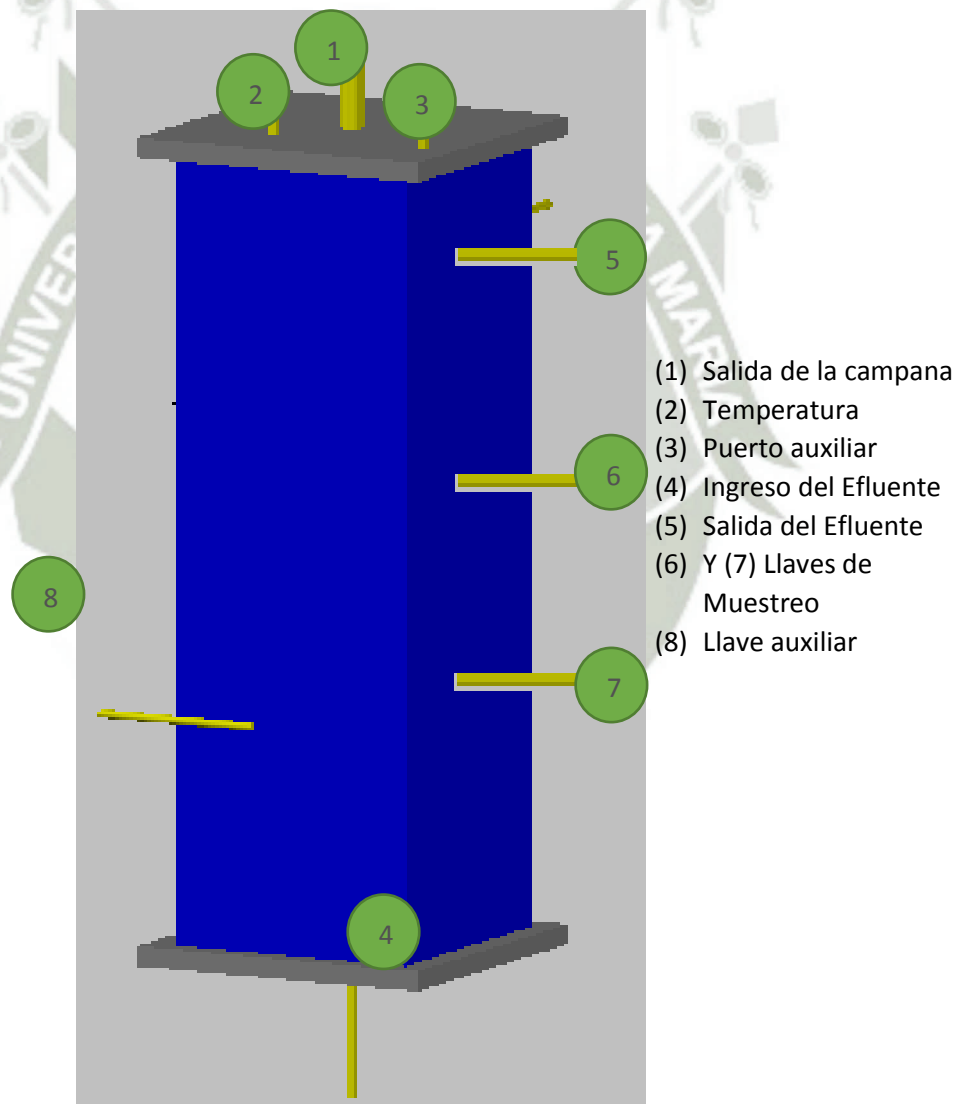


Figura 25: Diseño del Reactor UASB



Figura 26. Biorreactor UASB

3.3. Determinación de parámetros en un reactor UASB

3.3.1. Determinación del caudal.

Al realizar la medición con el método volumétrico colocando una probeta al final de la manguera de la salida del efluente se encontró que se tenía un caudal de 200 mL por minuto siendo 0.2 L/min el caudal con el cual trabajó el biorreactor.

3.3.2. Determinación de la velocidad ascensional.

Haciendo uso del caudal de 0.2 L/min que equivale a 0.012 m³/h y el área transversal del biorreactor que es de 0.027 m² se pudo hallar la velocidad ascensional con la ecuación 1.

$$Va = \frac{Q}{A}$$

(Ec.1)

$$Va = \frac{0.012}{0.027}$$

$$Va = 0.4244 \text{ m/h}$$

Donde:

Va: Velocidad ascensional (m/h)

Q: Caudal en el biorreactor (m³/h)

A: Área seccional transversal del biorreactor (m²)

De Beer et al, ^[117] describe en su investigación que el grado de mezcla en el reactor no debe ser ni tan bajo debido a que el material floculante se sedimentaría ni tan alto debido a que los gránulos se pueden desintegrar por la fuerza de la velocidad. O'Flaherty et al, ^[118] informo en su trabajo que la granulación procedió bien en un reactor anaerobio de flujo ascendente alimentado con etanol operando a una velocidad de flujo de 0.5m/h a comparación de una velocidad de 0.01 m/h. Aphenaar et al ^[119], informo de igual forma en su trabajo con un reactor UASB alimentado con acetato y sacarosa que procedió mejor a una velocidad ascensional de 0.5m/h que a 0.05m/h. La velocidad utilizada de 0.42 m/h en el reactor es muy cercana a la descrita por otros trabajos, lo que indica que el reactor tendrá una gran eficiencia al momento del tratamiento del agua residual procedente del lavado de lana de oveja.

3.3.3. Determinación del Tiempo de residencia hidráulica (THR).

El tiempo de residencia hidráulica (THR), permite conocer el tiempo que demora el agua residual desde su ingreso hasta su salida, esto se calculó con la ecuación 2:

$$THR = \frac{V}{Q}$$

$$THR = \frac{0.0381}{0.012}$$

(Ec.2)

$$\mathbf{THR = 3.175 h}$$

Donde:

THR: Tiempo de residencia hidráulica (h)

V: Volumen del biorreactor (m³)

Q: Caudal en el biorreactor (m³/h)

Este tiempo de residencia hidráulica de 3.175 horas indica que la primera gota que ingresa al reactor demora 3.175 horas para salir del reactor. Este no es el tiempo de tratamiento en el reactor anaerobio de flujo ascendente, por un tema de diseño y por las condiciones de la bomba, se propuso recircular el agua 8 veces, dando un tiempo total de tratamiento de 25.4 horas.

3.4. Reactor Aerobio: Determinación de parámetros:

Para el reactor aerobio (Anexo 13), se determinó un tiempo de residencia hidráulica de cinco días, se utilizó dos bombas que insuflaron aire teniendo un valor de 14.11 kg de aire/día cada una, siendo un total de Aire insuflado de 28.22 kg de aire/día.

Caudal de la bomba: 8L/minuto

$$\frac{8L}{\text{min}} \text{ Aire} \times \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} \times \frac{1m^3}{1000L} = 0.48 \frac{m^3 \text{ de Aire}}{h}$$

$$0.48 \frac{m^3 \text{ de Aire}}{h} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \times \frac{1,225 \text{ kg}}{m^3} = \mathbf{14.11 \frac{Kg \text{ de Aire}}{dia}}$$

Bakare et al ^[120], en su trabajo para tratar aguas residuales procedentes de una cervecería, indico el uso de una bomba que le proporcione un caudal de 7.5 L/minuto durante 5 días, logrando porcentajes de remoción para DQO del 90% y para DBO₅ de 80%.

3.5. Análisis de parámetros.

Para el análisis de DQO, DBO₅, SST, Grasas y aceites. Primero se realizó la determinación de los cuatro parámetros después de finalizado el tratamiento en el reactor UASB, y luego colocando la misma agua en el reactor aerobio se determinó los cuatro parámetros una vez finalizado el proceso aerobio.

Ya que se trabajó por triplicado, se sacó el promedio a todos los datos (Se muestran en el Anexo 14) y se graficaron los dos tratamientos anaerobio/aerobio para los parámetros de DQO, DBO₅, SST, Grasas y aceites tal como se muestran en las Figuras 27, 28, 29 y 30 respectivamente.

Las gráficas de DQO, DBO₅ y SST relacionan el parámetro vs el tiempo (en estos 3 casos se tuvieron datos por cada tiempo de residencia hidráulica para el caso del tratamiento anaerobio se obtuvieron 9 datos y para el aerobio se obtuvieron 5 datos); para el caso de Grasas y aceites también se relaciona el parámetro vs el tiempo (pero solo se tuvieron 2 datos para el tratamiento anaerobio y 2 datos para el tratamiento aerobio).

Para el caso de la Demanda Química de Oxígeno se ve un descenso a lo largo del tiempo (Figura 25), para un Tiempo de Residencia Hidráulica aproximado de 10 horas el DQO se encuentra por debajo del VMA, sin embargo al final de 145 horas el DQO llega a un valor de 244 mg/L muy cerca al Estándar de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebida de animales.

Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno se ve un descenso a lo largo del tiempo (Figura 26), para un Tiempo de Residencia Hidráulica aproximado de 19 horas el DBO₅ se encuentra por debajo del VMA, al final de todo el proceso a las 145 horas el DBO₅ tiene un valor de 146 mg/L muy cerca al Estándar de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebida de animales.

Para los Sólidos Suspendidos Totales a un Tiempo de Residencia Hidráulica de 23 horas se encuentra por debajo del VMA (Figura 27), finalizado todo el proceso a las 145 horas los SST tienen un valor de 135 mg/L.

Para las Grasas y aceites a un Tiempo de Residencia Hidráulica de 145 horas se encuentra por debajo del VMA (Figura 28), teniendo un valor de 78 mg/L incluso muy cerca al Estándar de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebida de animales.

Anaerobio/Aerobio DQO

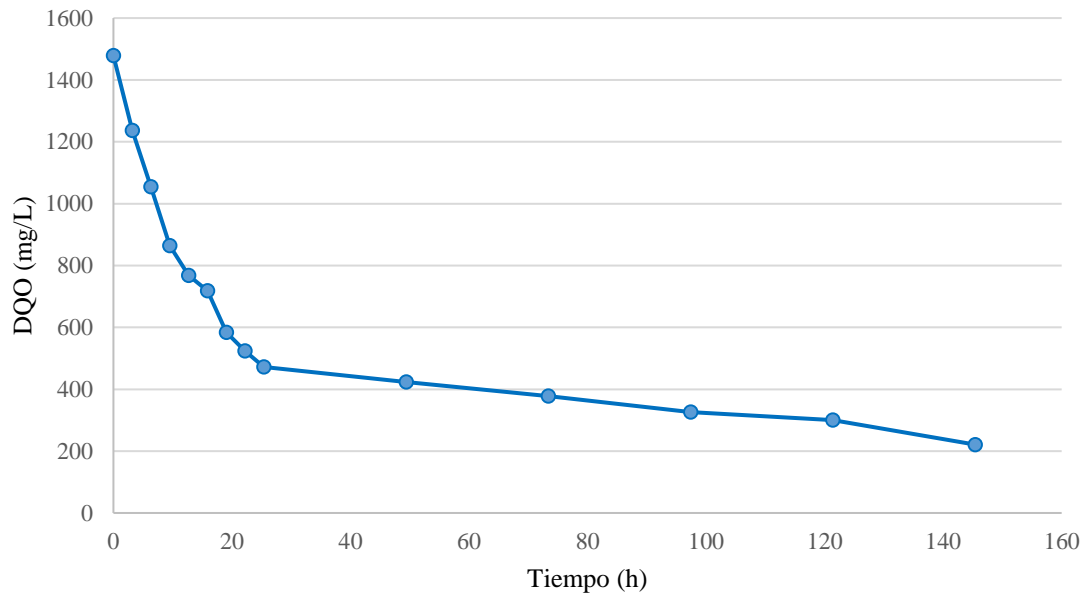


Figura 27. Valores de DQO después del tratamiento Anaerobio/Aerobio. Tiempo vs DQO

Anaerobio/Aerobio DBO₅

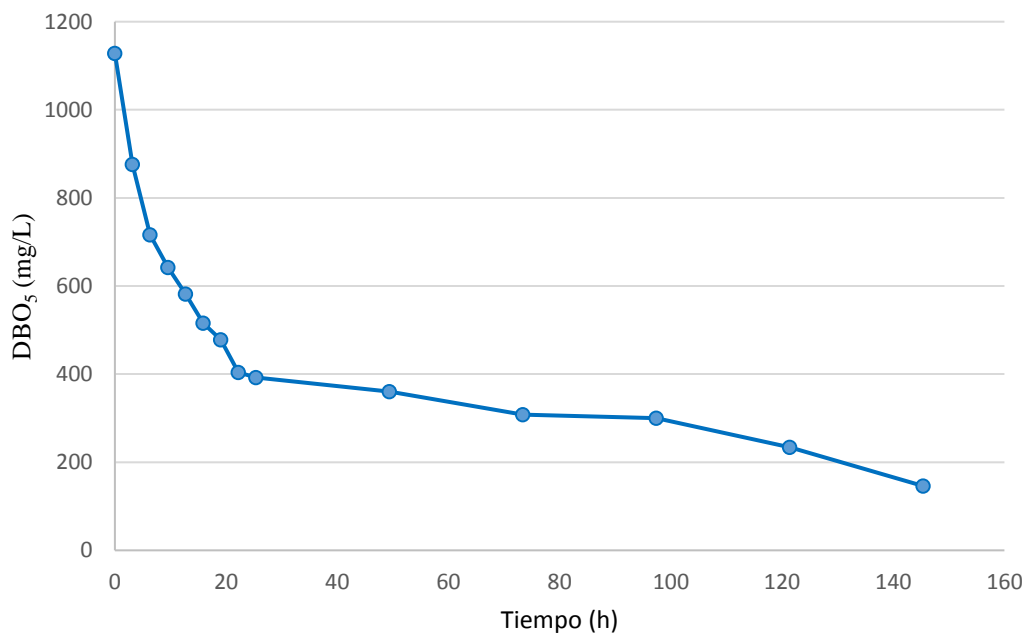


Figura 28. Valores de DBO₅ después del tratamiento Anaerobio/Aerobio. Tiempo vs DBO₅

Anaerobio/Aerobio SST

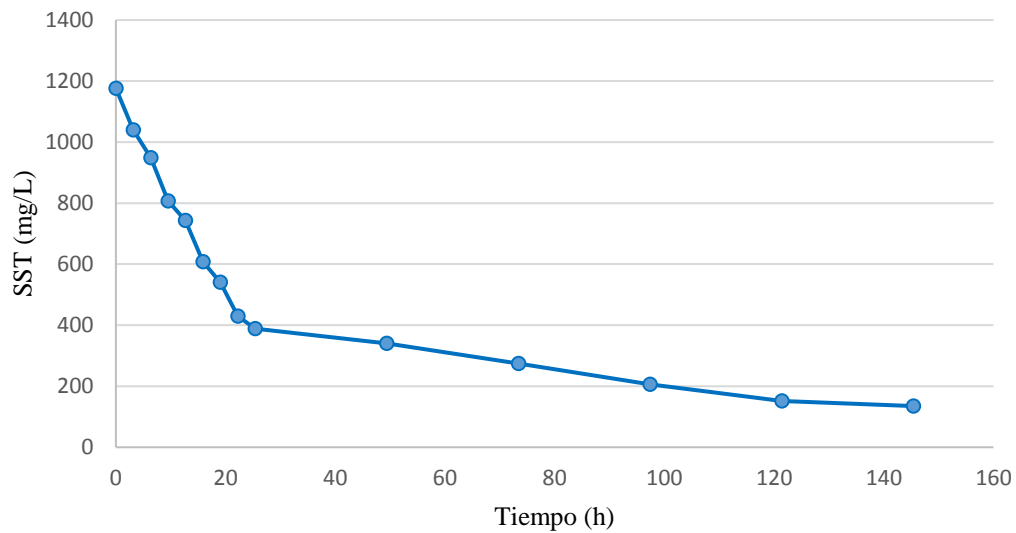


Figura 29. Valores de Solidos Suspending Totales después del tratamiento Anaerobio/Aerobio. Tiempo vs SST

Anaerobio/Aerobio GyA

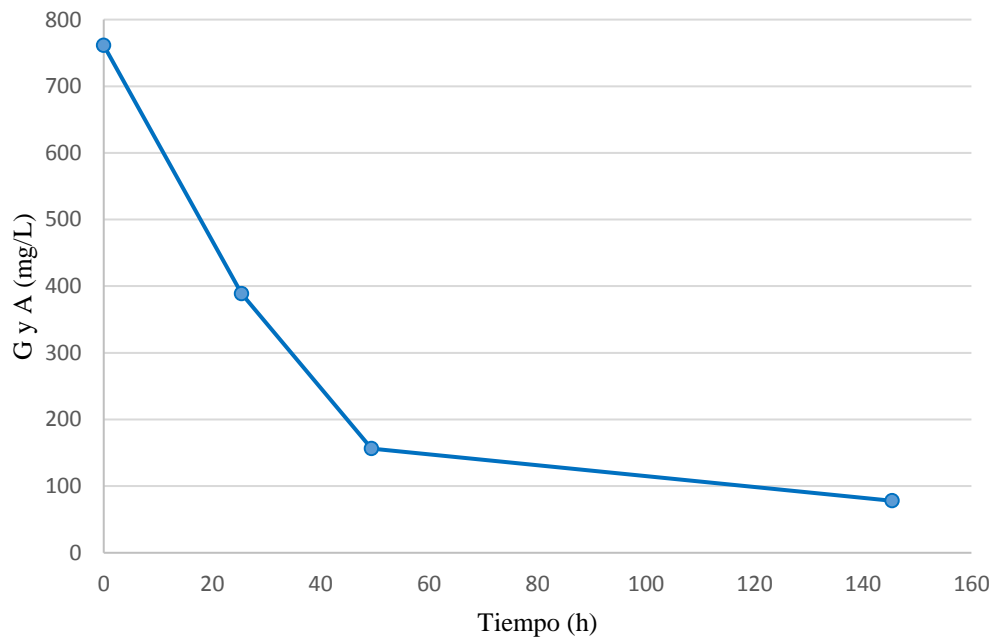


Figura 30. Valores de Grasas y Aceites después del tratamiento Anaerobio/Aerobio. Tiempo vs GyA

Para el tratamiento anaerobio se trabajó con un tiempo de 25.4 horas, el cual Arceivala ^[121] indica que para un DQO inicial entre 700 a 3000 mg/L el tiempo de procesamiento esta en rangos entre 6 a 24 horas a una velocidad ascensional entre 0.25 a 0.7 m/h obteniendo porcentajes de remoción entre 80 a 90 %. En la experimentación realizada a un tiempo de 15.8 horas se consiguió reducir el valor de DQO a la mitad, por debajo de los VMA establecidos por el DS. 001-2015-Vivienda.

Para el tratamiento aerobio se trabajó con tiempo de 5 días, consiguiendo una reducción de DQO inicial de 1478 a 221 mg/L cumpliendo con gran holgura con los VMA, hasta casi lograr estar cerca a los valores de Estándares de Calidad Ambiental para para riego de vegetales y bebida de animales.

El tiempo de procesamiento total combinando ambos tratamientos anaerobio como aerobio fue de 145.4 horas que es el equivalente a 6.05 días. Cumpliendo con los objetivos propuestos por la investigación de reducir los valores de contaminación por debajo de los VMA.

3.6. Evaluación del Tratamiento Anaerobio/Aerobio.

Los resultados se compararon con los VMA establecidos dentro del D.S. N° 001-2015-Vivienda. Las comparaciones se muestran en la Tabla 8 y 9.

Tabla 8. Muestra los Valores Máximos Admisibles según el D.S. N° 001-2015-Vivienda

Anexo 1			
Parámetro	Unidad	Expresión	VMA para descargas
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Solidos suspendidos totales	mg/L	SST	500
Aceites y grasas	mg/L	AyG	100

Tabla 9. Muestra la comparación entre los VMA y los valores obtenidos en todo el proceso.

Parámetro	VMA para descargas	Valores Iniciales	Valores Finales del Proceso Anaerobio/Aerobio
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	500	1128	146
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1000	1478	221
Sólidos suspendidos totales	500	1176	135
Aceites y grasas	100	761	78

Nancy Rincón ^[122], en su trabajo logro resultados de reducción de un valor inicial de DQO de 1400 a 75 mg/L, muy parecidos a los obtenidos en el presente trabajo. En el presente trabajo con respecto al DQO se lograron obtener valores parecidos luego de haber realizado ambos tratamientos.

El factor obtenido de 1.54 implicaría un gasto adicional para la empresa del 154% debido a la descarga de sus aguas residuales a la red de alcantarillado, con el tratamiento Anaerobio-Aerobio se logró reducir los parámetros finales encontrándose por debajo de los establecidos por el DS 001-2015-Vivienda. Los cálculos se muestran en el Anexo 15.

3.6.1. Determinación del porcentaje de remoción

Se determinó el porcentaje de remoción utilizando la ecuación 3 de todo el proceso tanto anaerobio como aerobio. Se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Porcentaje de remoción de todo el proceso Anaerobio/Aerobio.

Parámetro	Inicial	Final	% Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	1128	146	87.05
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	1478	221	85.04

Sólidos suspendidos totales	1176	135	88.52
Aceites y grasas	761	78	89.75

Rincón^[122], reporta en su trabajo un 95% de remoción con respecto al DQO, luego de realizarse el tratamiento tanto anaerobio como aerobio. En el presente trabajo se obtuvo un 85.04 % de remoción con respecto al DQO.

Von Sperling et al,^[123] en su trabajo reporta un 85% de remoción con respecto al DQO , luego de realizar el tratamiento combinado (anaerobio/aerobio), así mismo reporta un 85% de remoción con respecto a los SST. En el presente trabajo se obtuvo 88.52 % de remoción con respecto a los SST.

Torres y Foresti,^[124] en su trabajo reportan 91% y 74% de remoción para DQO y SST respectivamente.

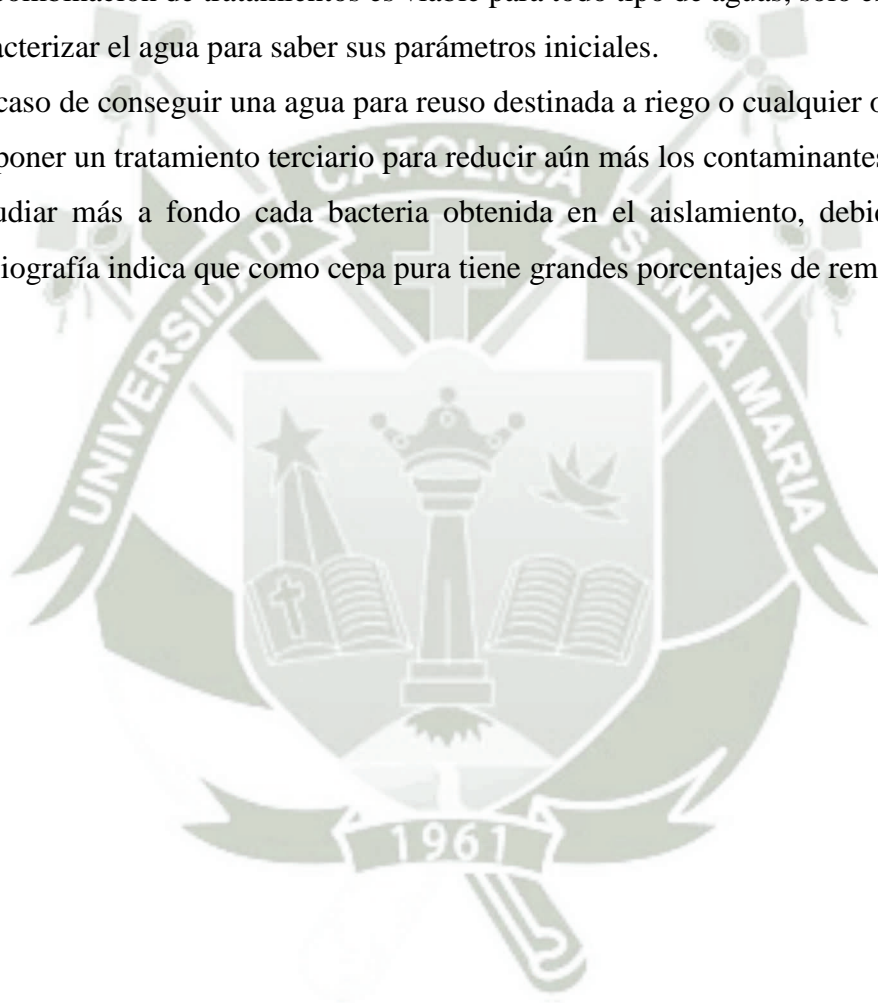
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones:

1. Se logró mediante el tratamiento anaerobio/aerobio reducir los niveles de contaminación del agua residual del lavado de lana de oveja.
2. Se aisló dos cepas nativas del agua residual de lavado de lana de oveja, las cuales ayudan a la remoción de la materia orgánica presente en el agua, las cepas son *Kurthia gibsonii* y *Kurthia sp.*
3. El biorreactor UASB tiene un volumen efectivo de 38 L, con 16.5 cm de ancho y una altura efectiva de 139.5 cm, una área de la base de 272.25 cm².
4. Se determinó que Tiempo de Residencia Hidráulica para el reactor UASB es de 3.175 horas pero por condiciones de diseño y de la bomba se propuso recircular el agua 8 veces, dando un tiempo total de tratamiento de 25.4 horas. El biorreactor UASB tiene una velocidad ascensional de 0.4244 m/h.
5. Se determinó que Tiempo de Residencia Hidráulica para el reactor aerobio es de 5 días con una inyección de aire de 28.22 Kg de Aire/día.
6. Se obtuvieron porcentajes de remoción de 87.05% para DBO₅, 85.04% para DQO, 88.52% SST y 89.75% para AyG mediante el uso combinado del tratamiento Anaerobio/Aerobio, logrando reducir los parámetros por debajo de los establecidos por el DS 001-2015-Vivienda. El tiempo total de todo el proceso es de 152 horas.

4.2. Recomendaciones:

1. Se debe probar el tratamiento anaerobio combinado con una laguna de oxidación, sin necesidad de insuflar aire ya que genera un costo. Se sugiere esta combinación debido a que en el reactor anaerobio ya se ve una gran reducción de la materia orgánica.
2. La combinación de tratamientos es viable para todo tipo de aguas, solo es importante caracterizar el agua para saber sus parámetros iniciales.
3. En caso de conseguir una agua para reuso destinada a riego o cualquier otro, se debe proponer un tratamiento terciario para reducir aún más los contaminantes.
4. Estudiar más a fondo cada bacteria obtenida en el aislamiento, debido a que la bibliografía indica que como cepa pura tiene grandes porcentajes de remoción.



Referencias

1. P. Mullai, M.K. Yogeswari, K. Saravanakumar, O. Bibin, K. Kathiresan, Application of QUASAR modelling in the Uppanar river of Cuddalore district of Tamil Nadu, India, *Environmental Engineering Research* 17 (2012) 53-56.
2. C. Sheela, L.L.J.L. Nisha, T.V. Poonguzhali. Biochemical and remediation studies of textile effluent using microalgae *Chroococcus minutus* (Kütz.). Nag, *Asian Journal of Biochemical and Pharmaceutical Research* 3 (2013) 94-103.
3. F.I. Hai, K. Yamamoto, K. Fukushi. Development of a submerged membrane fungi reactor for textile wastewater treatment. *Desalination* 192 (2006) 315-322.
4. Sociedad Nacional de Industrias. Reporte Sectorial N°10. 2016
5. A.N. Kumar, C.N. Reddy, S.V. Mohan. Biomineralization of azo dye bearing wastewater in periodic discontinuous batch reactor: effect of microaerophilic conditions on treatment efficiency. *Bioresource Technology* 188 (2015) 56-64.
6. Sattler, M. Favoring anaerobic wastewater treatment: a call for a paradigm shift. Annual Conference and Exhibition, Air and Waste Management Association. 2011
7. R. E. Speece. *Anaerobic Biotechnology and odor/Corrosion Control For Municipalities and Industries*, Archae Press, Nashville, Tennessee, 2008.
8. Moreno Jiménez, Henry. Optimización de diseño del sistema de alimentación de reactores U. A. S. B. *Revista Memos de Investigación*, No. 284. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes.
9. Barua, S., Dhar, B.R. Advances towards understanding and engineering direct interspecies electron transfer in anaerobic digestion. *Bioresour. Technol.* 2017;244, 698–707
10. Lloret, E., Pastor, L., Pradas, P., Pascual, J.A. Semi full-scale thermophilic anaerobic digestion (TanD) for advanced treatment of sewage sludge: stabilization process and pathogen reduction. *Chem. Eng.* 2013; J. 232, 42–50.
11. Auphimai, C., Rukruam, W., Chaiprasert, P. Efficacies of Various Inoculum Sources on Methane Production from Agro-industrial Wastewaters. *Energy Procedia.* 2014; 52, 167-172.

12. N. Mahmoud, G. Zeeman, H. Gijzen, G. Lettinga. Anaerobic sewage treatment in a one-stage UASB reactor and a combined UASB-Digester system, *Water Res.* 38 (2004) 2348-2358
13. Lettinga, G. Van Velsen, A. Hobma, S. de Zeeuw, W. y Klapwijk, A. Use of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering* (1980), Vol 22, N° 4, p 699-734.
14. Ruiz, I. Alvarez, J. Soto, M. El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica. Universidad de La Coruña. Facultad de Ciencias. 1999. P 51-55
15. E. Khelifi, H. Gannoun, Y. Touhami, H. Bouallagui, M. Hamdi. Aerobic decolourization of the indigo dye-containing textile wastewater using continuous combined bioreactors, *Journal of Hazardous Materials* 152 (2008) 683-689.
16. L.K. Wang, Y.T. Hung, H.H. Lo, C. Yapijakis. *Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment*, Taylor & Francis, 2004.
17. T.L.P. Dantas, V.P. Mendonça, H.J. José, A.E. Rodrigues, R.F.P.M. Moreira. Treatment of textile wastewater by heterogeneous Fenton process using a new composite Fe₂O₃/carbon, *Chemical Engineering Journal* 118 (2006) 77-82
18. Rippon, J.A. The structure of wool. In: Lewis, D.M., Rippon, J.A. (Eds.). *The Coloration of Wool and Other Keratin Fibres*. Wiley, Chichester, UK. 2013a. pp. 1-42.
19. Mercer, E.H., Maltosy, A.G., Keratin. In: Montagna, W., Dobson, R.L. *Advances in Biology of Skin and Hair Growth*. Pergamon Press, Oxford. 1968; pp. 555-569
20. Zahn, H., Fohles, J., Nienhaus, M., Schwan, A., Spel, M. Wool as a biological composite structure. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development* 19. 1980; 496-501.
21. Gillespie, J.M. The proteins of hair and other hard alpha-keratins. In: Goldman, R.D., Steinert, P.M. (Eds.), *Cellular and Molecular Biology of Intermediate Filaments*. Plenum Press, New York. 1990; pp. 95-128.

22. Liu, M., Lu, Z., Chen, Z., Yu, S., Gao, C. Comparison of reverse osmosis and nanofiltration membranes in the treatment of biologically treated textile effluent for water reuse. *Desalination* 281. 2011; 372–378. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.023>.
23. Bes-Piá, A., Mendoza-Roca, J., Alcaina-Miranda, M., Iborra-Clar, A., Iborra-Clar, M. Reuse of wastewater of the textile industry after its treatment with a combination of physicochemical treatment and membrane technologies. *Desalination* 149. 2002; 169–174.
24. Kumar, G.N.P., Bhat, S.K. Decolourization of azo dye Red 3BN by bacteria. *Int. Res. J. Biol. Sci.* 2012; 1, 46–52
25. Babu, R.B., Parande, A.K., Raghu, S., Kumar, P.T. Textile technology-cotton textile processing: waste generation and effluent treatment. *J. Cotton Sci.* 2007; 11, 141–153
26. Chen, X., Shen, Z., Zhu, X., Fan, Y., Wang, W. Advanced treatment of textile wastewater for reuse using electrochemical oxidation and membrane filtration. *Water SA.* 2005; 31, 127–132.
27. Rasheed, S., Kavitha, A., Hayavadana, J. A critical review on effluent treatment for textiles. *Trans. Eng. Sci.* 2014; 2, 18–21.
28. Chavan, R.B. Indian textile industry – environmental issues. *Indian J. Fibre Text. Res.* 2001; 26, 11–21.
29. Yasui, H., Nakamura, K., Sakuma, S., Iwasaki, M., Sakai, Y. A full scale operation of anovel activated carbon process without excess sludge production. *Water Sci. Technol.* 1996; 34, 395–404.
30. Kestioglu, K., Yonar, T., Azbar, N. Feasibility of physico-chemical treatment and advanced oxidation processes (AOPs) as a means of pretreatment of olive mill effluent (OME). *Process. Biochem.* 2005; 40, 2409–2416.
31. Amar, N.B., Kechaou, N., Palmeri, J., Deratani, A., Sghaier, A. Comparison of tertiary treatment by nanofiltration and reverse osmosis for water reuse in denim textile industry. *J. Hazard. Mater.* 2009; 170, 111–117.
32. Mara, D.D. *Sewage Treatment in Hot Climates*, John Wiley & Sons, Londres. 1976.

33. Mendonça, S.R., Ceballos, B.S.O., König, A. & Souto, R.C. Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos Conceitos, ed. S.R. Mendonça, João Pessoa, Brasil.1990; 388 pp
34. Mara, D.; Cairncross, S. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. 1990.
35. es.scribd.com/doc/45344859/aguas-residuales.
36. [Cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/1/PerezAlarconyCamachoAlcala.pdf](https://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/1/PerezAlarconyCamachoAlcala.pdf)
37. Paul, S.A., Chavan, S.K., Khambe, S.D. Studies on characterization of textile industrial waste water in African city. *Int. J. Chem. Sci.* 2012; 10, 635-642.
38. Kant, R.. Textile dyeing industry an environmental hazard. *Nat. Sci.* 2012; 4, 22-26. <http://dx.doi.org/10.4236/ns.2012.41004>.
39. Mazumber, D. Process evaluation and treatability study of wastewater in a textile dyeing industry. *Int. J. Energy Environ.* 2011; 2, 1053-1066.
40. Chandrakant R. Holkar, Ananda J. Jadhav, Dipak V. Pinjari*, Naresh M. Mahamuni, Aniruddha B. Pandit. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. Chemical Engineering Department. 2016.
41. Bateup, B. O. Optimization of the Aqueous Scouring Process. Wool Scouring and Worsted Carding: New Approaches. CSIRO Division of Textile Industry Symposium, Geelong, Australia 1986; 8-16.
42. G. Tchobanoglous, et al. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, McGraw-Hill Education.2003.
43. Extracted from I.L.C. Drexler, A.L. Prieto, D. Yeh, Wastewater constituents, in: S. Ahuja (Eds.), Comprehensive Water Quality and Purification, Elsevier, Waltham, 2014; pp. 7-29.
44. Christoe, J R, Waste Water Treatment and Disposal, Wool Scouring and Worsted Carding: New Approaches. Symposium held by CSIRO Division of Wool Technology November 1986.

45. Castro, G; Peláez, H. Lavaderos De Lana: Soluciones Innovadoras para viejos problemas. Instituto de Ingeniería Química Facultad de Ingeniería. Montevideo-Uruguay.
46. Ley General del Ambiente. Ley 28611 de 13 de Octubre de 2005. Boletín Oficial el Peruano, N° 525919, (14-10-2005)
47. Ley de Recursos Hídricos. Ley 29338 del 23 de Marzo de 2009
48. http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/2320/1/sotomayor_yg.pdf
49. ISO 6060, Determination of the Chemical Oxygen Demand, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1989.
50. W.A. Moore, R.C. Kroner, C.C. Ruchhoft, Anal. Chem. 21 (1949); 953-957
51. Barceló, Damiá y López, María J. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. En: Panel Científico- Técnico de seguimiento de la política de aguas. Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales-CSIC. Barcelona 2007.
52. Great Britain. Royal Commission on Sewage Disposal. Cornell University Library. Ed. Final report of the commissioners appointed to inquire and report what methods of treating and disposing of sewage (including any liquid from any factory or manufacturing process). General summary of conclusions and recommendations. 1908
53. Nagel, B., Dellweg, H., Gierasch, L.M. Glossary for chemists of terms used in biotechnology (IUPAC recommendations 1992). Pure Appl. Chem. 1992; 64 (1), 143-168.
54. Riedel, K., Kunze, G., König, A. Microbial Sensors on a Respiratory Basis for Wastewater Monitoring. 2002
55. Reuschenbach, P., Pagga, U., Strotmann, U. A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods. Water Res. 2003; 37 (7), 1571-1582.

56. Análisis de agua – medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la nmx-aa-034-scfi-2001). nmx-aa-034-scfi-2015
57. Determinación de grasas y aceites en aguas por el metodo Soxhlet. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia
58. S. Rebac, J. Ruskova, S. Gerbens, J.B. van Lier, A.J.M. Stams, G. Lettinga, High-rate anaerobic treatment of wastewater under psychrophilic conditions, *Journal of Fermentation Bioengineering* 80 (1995) 499-506.
59. G. Lettinga, S. Rebac, G. Zeeman, Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment, *Trends in Biotechnology* 19 (9) (2001) 363-370.
60. S.K. Khanal, *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production*, Wiley-Blackwell, Ames, IA, USA, 2008.
61. Abbasi T, Tauseef SM, Abbasi SA. Anaerobic digestion for global warming control and energy generation—an overview. *Renew Sust Energ Rev* 2012; 16(5):3228–42.)
62. K. Ostrem, *Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes* (M.S. thesis), Earth Engineering, Columbia University, 2004.
63. D.E. Hughes, D.A. Stafford, B.I. Wheatley, *Anaerobic Digestion*, Applied Science Publishers, 1980.
64. M.S. Switzenbaum, C.P.L. Grady, Anaerobic treatment of domestic wastewater, *Journal of Water Pollution Control Federation* 58 (2) (1986) 102-106.
65. P.L. McCarty, Anaerobic waste treatment fundamentals, *Public Works* 95 (9) (1964) 107-112.
66. G.J. Stander, Effluents from fermentation industries. Part IV. A new method for increasing and maintaining efficiency in the anaerobic digestion of fermentation effluents, *Journal of the Institute of Sewage Purification*, Part 4 (1950) 447.
67. J. Vollertsen, A. Jahn, J.L. Nielsen, T.H. Jacobsen, P.H. Nielsen, Determination of microbial biomass in wastewater, *Water Research* 35 (7) (2001) 1649-1658.

68. F.Y. Cakir, Anaerobic treatment of low strength wastewater, in: Civil Engineering, University of California Los Angeles, 2004.
69. X.J. Zhang, Anaerobic process, in: S. Ahuja (Ed.), Comprehensive Water Quality and Purification, Elsevier, Waltham, 2014, pp. 108-122.
70. M. Libhaber, A´. Orozco-Jaramillo, Sustainable Treatment and Reuse of Municipal Wastewater.
71. U. Marchaim, Biogas Processes for Sustainable Development, Food & Agriculture Org., 1992.
72. L.D. Benefield, C.W. Randall, Biological Process Design for Waste Water Treatment, Ibis Publishing, Charlottesville, Virginia, 1985.
73. M.J. Wolin, T.L. Miller, Interspecies hydrogen transfer, 15 years later, ASM News 48 (1982) 561-565.
74. A.J. Zehnder, Ecology of methane formation, Water Pollution Microbiology 2 (1978) 349-376
75. J.S. Jeris, P.L. McCarty, The biochemistry of methane fermentation using ¹⁴C tracers, Journal Water Pollution Control Federation 37 (2) (1965) 178-192.
76. R.I. Mackie, M.P. Bryant, Metabolic activity of fatty acid oxidizing bacteria and the contribution of acetate, propionate, butyrate and carbon dioxide to methanogenesis in cattle waste at 40 C and 60 C, Applied and Environmental Microbiology 3 (1981) 321-361.
77. W.E. Balch, G.E. Fox, L.J. Magrum, C.R. Woese, R.S. Wolfe, Methanogens: reevaluation of a unique biological group, Microbiological Reviews 43 (1979) 260-296.
78. B.A. Huser, K. Wuhrmann, A.J.B. Zehnder, Methonothrix soehngenii gen. nov. sp. Nov., a new acetotrophic non-hydrogen oxidizing methane bacterium, Archives of Microbiology 132 (1982) 1-9
79. M.R. Smith, R.A. Mah, Growth and methanogenesis by Methanosarcina strain 227 on acetate and methanol, Applied and Environmental Microbiology 36 (6) (1978) 870-879.

80. J.T. Novak, D.A. Carlson, The kinetics of anaerobic long chain fatty acid degradation, *Journal Water Pollution Control Federation* 42 (11) (1970) 1932-1943.
81. J.T. Pfeffer, Anaerobic digestion processes, in: D.A. Stafford, B.I. Wheatley, D.E. Hughes (Eds.), *Proceedings of the 1st International Symposium on Anaerobic Digestion*, Cardiff, Wales, Anaerobic Digestion, Applied Science Publishers, London, 1980, pp. 15-35.
82. C. Su, L. Lei, Y. Duan, K.-Q. Zhang, J. Yang, Culture-independent methods for studying environmental microorganisms: methods, application, and perspective, *Applied Microbial Biotechnology* 93 (2012) 993-1003.
83. I. Zarraonaindia, D.P. Smith, J.A. Gilbert, Beyond the genome: community-level analysis of the microbial world, *Biology and Philosophy* 28 (2013) 261-282.
84. M. Keyser, T.J. Britz, R.C. Witthuhn, Fingerprinting and identification of bacteria present in UASB granules used to treat winery, brewery, distillery or peach-lye canning wastewater, *South African Journal of Enology and Viticulture* 28 (2007) 69-79
85. R.I. Amann, W. Ludwig, K.H. Schleifer, Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation, *Microbiology Reviews* 59 (1) (1995) 143-169.
86. T. Abbasi, S. Tauseef, S. Abbasi, A brief history of anaerobic digestion and “biogas”, in: *Biogas Energy*, Springer, 2012, pp. 11-23.
87. T. Abbasi, S. Tauseef, S.A. Abbasi, *Biogas Energy*, vol. 2, Springer Science & Business Media, 2011.
88. G. Lettinga, et al., Feasibility of the upflow anaerobic sludge blanket (UASB)-process, in: *Environmental Engineering*, ASCE, 1979
89. Various anaerobic reactor configurations. Adapted from P.L. McCarty, D.P. Smith, Anaerobic wastewater treatment, *Environmental Science & Technology* 20 (12) (1986) 1200-1206
90. P.L. McCarty, D.P. Smith, Anaerobic wastewater treatment, *Environmental Science & Technology* 20 (12) (1986) 1200-1206

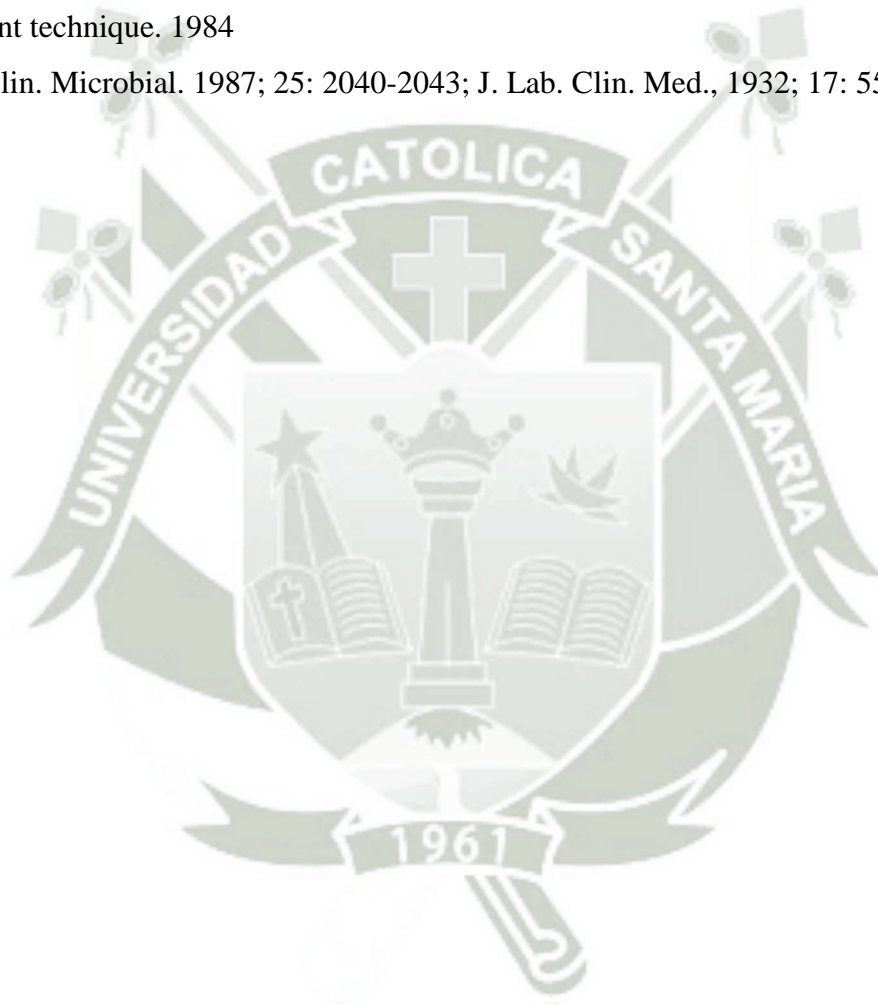
91. Ng, K.K., Shi, X., Melvin, K.Y.T., Ng, H.Y. A novel application of anaerobic bioentrapped membrane reactor for the treatment of chemical synthesis-based pharmaceutical wastewater. *Sep. Purif. Technol.* 2014; 132, 634-643.
92. Ng, K.K., Lin, C.F., Panchangam, S.C., Hong, A.P.K., Yang, P.Y. The effect of soluble microbial products on membrane fouling in a fixed carrier biological system. *Sep. Purif. Technol.* 72, 2010; 98-104.
93. Chen, Z., Wang, Y., Li, K., Zhou, H. Effects of increasing organic loading rate on performance and microbial community shift of an up-flow anaerobic sludge blanket reactor treating diluted pharmaceutical wastewater. *J. Biosci. Bioeng.* 2014; 118, 284-288.
94. Lettinga, G., Hulshoff Pol, L.W. UASB-process design for various types of wastewaters. *Water Science and Technology* 24 (8), 1991; 87-107.
95. Hulshoff Pol, L.W., de Castro Lopes, S.I., Lettinga, G., Lens, P.N.L. Anaerobic sludge granulation. *Water Research* 38 (6), 2004; 1376-1389
96. Aiyuk, S., Forrez, I., Lieven, D.K., van Haandel, A., Verstraete, W. Anaerobic and complementary treatment of domestic sewage in regions with hot climates e A review. *Bioresource Technology* 97. 2006; (17), 2225-2241.
97. Cetecioglu, Z., Ince, B., Gros, M., Rodriguez-Mozaz, S., Barceló, Ince, O., Orhon, D. Biodegradation and reversible inhibitory impact of sulfamethoxazole on the utilization of volatile fatty acids during anaerobic treatment of pharmaceutical industry wastewater. *Sci. Total Environ.* 2015 ; 536, 667-674.
98. R. Dague, C. Habben, S. Pidaparti, Initial studies on the anaerobic sequencing batch reactor, *Water Science & Technology* 26 (9-11) (1992) 2429-2432.
99. R.R. Dague, *Anaerobic Sequencing Batch Reactor*, Google Patents, 1993.
100. S. Sung, R.R. Dague, Laboratory studies on the anaerobic sequencing batch reactor, *Water Environment Research* 67 (3) (1995) 294-301
101. U.J. Ndon, *Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Low Strength Wastewater*, Iowa State University, 1995
102. J. Coulter, S. Soneda, M. Ettinger, *Anaerobic contact process for sewage disposal*, *Sewage and Industrial Wastes* (1957) 468-477.

103. J.C. Young, P.L. McCarty, The anaerobic filter for waste treatment, Journal (Water Pollution Control Federation) (1969) R160-R173.
104. Folleto informativo de sistemas descentralizados. Tratamiento aeróbico. National service center for environmental publications (NSCEP). EPA United States environmental protection agency. 2000
105. Sáenz, R. “Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales”. Manual DTIAPA N° C-14, CEPIS. Segunda edición. 1985.
106. Ingeniería ambiental. J. Glynn Henry y Gary W. Heinke. Segunda edición. Pearson Education. México. 1999.
107. Metcalf y Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales: tratamiento, vertido y reutilización (1° Edición). Madrid: McGraw-Hill. 1995
108. Eduardo Santambrosio. Tinción y observación de microorganismos. Universidad Tecnológica Nacional. 2009
109. Márquez, M., & Martínez, S. Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA's o UASB). México, 2001
110. Manual N° 5 Medición de agua. Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego. Ministerio de Agricultura y Riego. Octubre del 2014.
111. Raúl Fernández. Sedimentación/Aguas. Escuela de Organización Industrial. 2016
112. Patricia Marcos. Planta de tratamiento de aguas residuales de proceso (edari) de una petroquímica. Escuela de Organización Industrial. 2011
113. Saúl A. Chuchón Martínez. Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales “la totora”, ayacucho, Perú. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. 2008
114. Jenicek, P., Koubova, J., Bindzar, J., & Zabranska, J. Advantages of anaerobic digestion of sludge in microaerobic conditions. Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research, 2010; 62(2), 427–34.

115. Zhiyong Ruan, Shan Zhou, Shenghua Jiang et al. Isolation and characterization of a novel cinosulfuron degrading *Kurthia* sp. From a methanogenic microbial consortium. State Key Laboratory of Agricultural Microbiology, College of Life Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China. *Bioresource Technology*. 2013; 477–483
116. Anne Kahcu, Rain Reiman and Annelly Riitsep. The efficiency of different phenol-degrading bacteria and activated sludges in detoxification of phenolic leachates. *Chemosphere*, Vol. 37, No. 2, 1998; pp. 301-318,
117. De Beer, D., O’Flaherty, V., Thaveesri, J., Lens, P.N.L. & Verstraete, W. Extracellular polysaccharide distribution and flotation of anaerobic sludge. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1996; 46, 197-201.
118. O’Flaherty, V., Lens, P.N.L., De Beer, D. & Colleran, E. Effect of feed composition and upflow velocity on aggregate characteristics in anaerobic upflow reactors. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1997; 47, 102-107.
119. Alphenaar, P.A., Visser A. & Lettinga, G. The effect of liquid upflow velocity and hydraulic retention time on granulation in UASB reactors treating wastewater with high sulphate content. *Bioresource Technology*, 1993; 43, 249-258.
120. B.F. Bakare, K. Shabangu, M. Chetty. Brewery wastewater treatment using laboratory scale aerobic sequencing batch reactor. *South African journal of chemical engineering*. 2017; 128-134.
121. Arceivala, S. J., Asolekar, S. R. “Wastewater Treatment for Pollution Control and Reuse”, 3rd Ed., Tata McGraw Hill, 2007
122. Nancy Rincón, Elisabeth Behling, Altamira Díaz. Combinación de tratamientos anaerobio-aerobio de aguas de producción provenientes de la industria petrolera venezolana. *Research Gate*. 2014
123. Von Sperling, M., Chernicharo, C.A.L. Selection of wastewater treatment systems in urban areas. Comparison between conventional aerobic systems (Activated sludge) and anaerobic–aerobic systems (UASB-Activated sludge). In: *Proceedings of the*

Fifth Latin–American Workshop – Seminar Wastewater Anaerobic Treatment, Vina del Mar, Chile. 1998

124. Torres, P., Foresti, E. Domestic sewage treatment in a pilot system composed of UASB and SBR reactors. *Water Sci. Technol.* 2001; 44 (4), 247–253
125. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 2nd ed. APHA. International Standard ISO 7937: Microbiology of food and animal feeding stuffs – Horizontal Method for the enumeration of *Clostridium perfringens* – Colony-count technique. 1984
126. *J. Clin. Microbiol.* 1987; 25: 2040-2043; *J. Lab. Clin. Med.*, 1932; 17: 558-565.



Anexos

Anexo 1. Caldo Tioglicolato

Fundamento Las Peptonas y/o Extracto de Levadura son los aportes nutritivos del medio, mientras que la Glucosa es el aporte energético. El Sodio Tioglicolato y la L-Cistina permiten el desarrollo de gérmenes anaerobios en condiciones aerobias. La Resazurina indica el estado de oxidación y el Sodio Cloruro aporta la salinidad en el medio^[125].

Composición (g/l): Sodio

- Tioglicolato de Sodio.....0,5
- L-Cistina0,5
- Extracto de Levadura.....5,0
- D(+)-Glucosa5,5
- Digerido Enzimático de Caseína.....15,0
- Resazurina0,001
- Sodio Cloruro.....2,5
- Agar.....0,75
- pH: 7,1±0,2

Preparación Suspender 29,5 g en 1 l de agua destilada, agitar y calentar hasta ebullición. Hervir durante 1 minuto, distribuir en tubos, llenándolos hasta la mitad y esterilizar a 121°C durante 15 minutos. Conservar al abrigo de la luz. El medio preparado puede conservarse un cierto tiempo en la nevera. Si lleva indicador (resazurina) y el medio presenta un color rosa en más del 30% nos indica que está oxidado y deben restablecerse las condiciones anaerobias refundiéndolo en un baño. Solo se puede refundir una vez.

Interpretación de resultados:

- Microorganismos aerobios estrictos: Crecen en la parte superior del tubo.
- Microorganismos facultativos: Crecen en la mitad del tubo
- Microorganismos anaerobios estrictos: Crecen en el fondo del tubo.

Anexo 2. Agar Sangre

Se emplea, añadiendo sangre o sangre cocida, para el cultivo y aislamiento de microorganismos exigentes, sobre todo patógenos y para su determinación. Si no se añade sangre, es adecuado como base para la preparación de otros medios especiales. Dada la excelente base nutritiva, permite el crecimiento de prácticamente todos los microorganismos que pudieran estar presentes. Si se añade sangre se pueden determinar las distintas formas de hemólisis que pudieran tener lugar^[126]

Composición (g/l):

- Infusión de Corazón10,0 g
- Peptona de Carne10,0 g
- Sodio Cloruro.....5,0 g
- Agar15,0 g
- pH final: 7,3±0,2

Suspender 40 g en 1 l de agua destilada; calentar y agitar hasta ebullición y hervir durante 1 minuto. Esterilizar a 121 °C durante 30 minutos (para cantidades de más de 1 litro). Homogeneizar y distribuir en tubos de ensayo y esterilizar a 121 °C durante 15 minutos. Para preparar placas de Agar Sangre incorporar 5 a 10% de Sangre desfibrinada antes de distribuir en placas. Para una mejor conservación de la placa de Agar Sangre y para obtener halos hemolíticos más claros ajustar el pH a 6,8±0,2. Si se utiliza como medio basal se obtendrán mejores crecimientos a pH 7,3±0,2.

Anexo 3. Tinción de Gram

Esta tinción se denominada así por el bacteriólogo danés Christian Gram, quien la desarrolló en 1844. Sobre la base de su reacción a la tinción de Gram, las bacterias pueden dividirse en dos grupos, grampositivas y gramnegativas (en este caso, los términos positivo y negativo no tiene nada que ver con carga eléctrico, sino simplemente designan dos grupos morfológicos distintos de bacterias). Las bacterias gram-positivas y gram-negativas tiñen de forma distinta debido a las diferencias constitutivas en la estructura de sus paredes celulares. La pared de la célula bacteriana sirve para dar su tamaño y forma al organismo así como para prevenir la lisis osmótica. El material de la pared celular bacteriana que confiere rigidez es el peptidoglicano. La pared de la célula gram-positiva es gruesa y consiste en varias capas interconectadas de peptidoglicano así como algo de ácido teicoico. Generalmente, 80%-90% de la pared de la célula gram-positiva es peptidoglicano. La pared de la célula gram-negativa, por otro lado, contiene una capa mucho más delgada, únicamente de peptidoglicano y está rodeada por una membrana exterior compuesta de fosfolípidos, lipopolisacáridos, y lipoproteínas. Sólo 10% - 20% de la pared de la célula gram-negativa es peptidoglicano.

Preparación:

- Solución de Cristal Violeta al 1%. Se deja actuar 1 minuto
- Solución Yodo- Iodurada. Se deja actuar 1 a 2 minutos
- Solución de alcohol Acetona. Se deja actuar 20 Segundos
- Solución de Safranina. Se deja actuar 1 a 2 Minutos.

Resultados:

Gram Positivas: Se observara al microscopio de color azul

Gram Negativas: Se observara al microscopio de color rojo

Anexo 4. Ecuaciones para el Diseño de la Campana GLS y deflectores.

Se siguieron las ecuaciones propuestas por Marques & Martinez ^[109] para el diseño de la Campana GLS y los deflectores.

Velocidad de flujo en la campana (V_c): $V_c = 4 \times V_a$

Caudal ideal en el biorreactor (Q): $V_a = \frac{Q}{A}$

Área de abertura de la campana ($A_{abertura}$): $A_{abertura} = \frac{Q}{V_c}$

Área de la campana ($A_{campana}$): $A_{campana} = A_r - A_{abertura}$

Radio de la campana ($R_{campana}$): $R_{campana} = \frac{\sqrt{A_{campana}}}{2}$

Ancho de la abertura ($W_{abertura}$): $W_{abertura} = R_r - R_{campana}$

Altura del tubo de salida (W_g): $W_g = R_{campana} - \frac{1}{2}(W_{abertura})$

Altura de la campana (H_g): $H_g = W_g \tan \alpha$

Valor del traslapo en los deflectores (T_v): $T_v = 1.5 (W_{abertura})$

Ancho de los deflectores (W_d): $W_d = T_v + W_{abertura}$

Longitud de los deflectores (L_d): $L_d = 2 W_d \tan 45^\circ$

Anexo 5. Reactivos para la Determinación de DQO

Solución Digestora:

- Pesar 10.21 g de Dicromato de Potasio previamente secado.
- Añadirle 500 ml de agua destilada
- Adicionar 167 ml de ácido sulfúrico c.c
- Agregar 33.3 g de Sulfato de Mercurio y llevar a 1 L de agua destilada



Anexo 6. Reactivos para la Determinación de DBO₅

Buffer Fosfato (pH 7.2):

- 8.5 g de Fosfato Monobásico de Potasio
- 21.75 g de Fosfato Dibásico de Potasio
- 33.4 g de Fosfato Dibásico de Sodio
- 1.7 g de Cloruro de Amonio y aforar en 1 L de agua destilada

Sulfato de Magnesio:

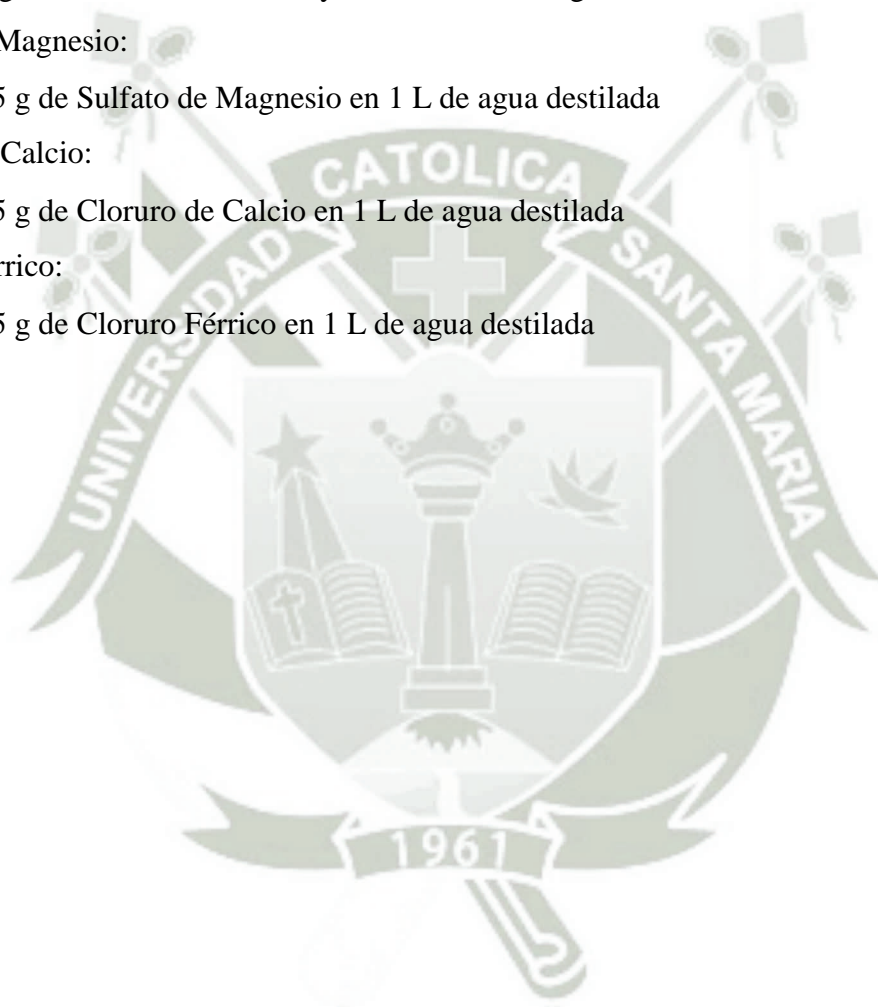
- 22.5 g de Sulfato de Magnesio en 1 L de agua destilada

Cloruro de Calcio:

- 27.5 g de Cloruro de Calcio en 1 L de agua destilada

Cloruro Férrico:

- 0.25 g de Cloruro Férrico en 1 L de agua destilada



Anexo 7. Pago adicional por descarga al alcantarillado impuesta por el DS 001-2015-

Vivienda

Rangos de Parámetros

RANGO	PARÁMETROS			
	DBO ₅	DQO	SST	A y G
VMA (mg/L)	500	1000	500	100
Rango 1	500, 1-550	1000, 1-1100	500, 1 -550	100, 1- 150
Rango 2	550, 1-600	1100, 1-1200	550, 1 -600	150, 1- 200
Rango 3	600, 1-1000	1200, 1-2500	600, 1-1000	200, 1- 450
Rango 4	1000, 1-10 ⁴	2500, 1-10 ⁴	1000, 1 -10 ⁴	450, 1- 10 ³
Rango 5	> a 10 ⁴	> a 10 ⁴	> a 10 ⁴	> a 10 ³

Definición de Límite de Pago Adicional

Rango	Límite de Pago Adicional
Rango 1	25% del importe facturado por servicio de alcantarillado
Rango 2	75% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 3	100% del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 4	10 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado
Rango 5	20 veces del importe facturado por el servicio de alcantarillado

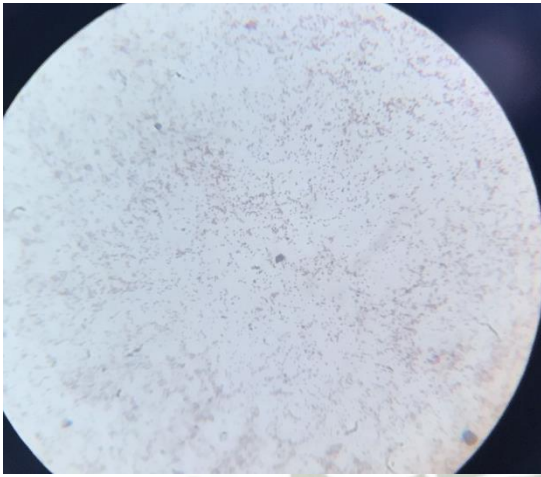
Asignación Porcentual

Parámetro	Asignación Porcentual
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	25%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	35%
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	20%
Aceites y Grasas	20%

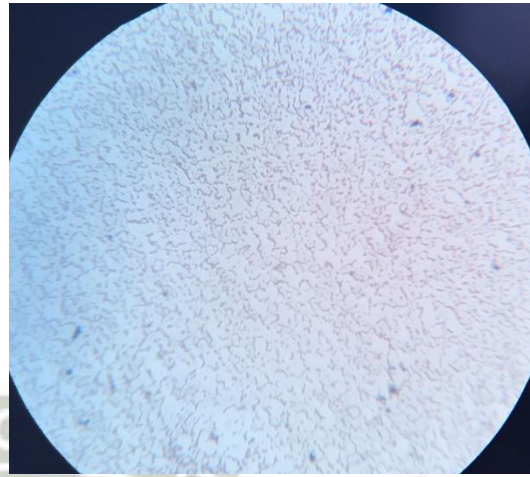
Factores para cada Rango

Rango	Factores				Total
	F DBO ₅	F DQO	F SST	F Ay G	
Asignación Porcentual	25%	15%	20%	20%	
Rango 1	6%	9%	5%	5%	25%
Rango 2	19%	26%	15%	15%	75%
Rango 3	25%	35%	20%	20%	100%
Rango 4	250%	350%	200%	200%	10 veces mas
Rango 5	500%	700%	400%	400%	20 veces mas

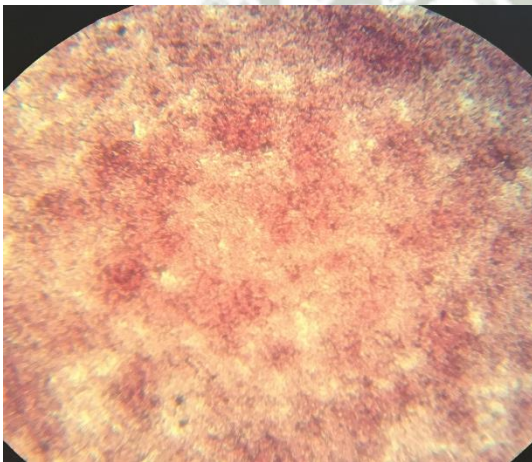
Anexo 8. Morfología de las 5 cepas aisladas



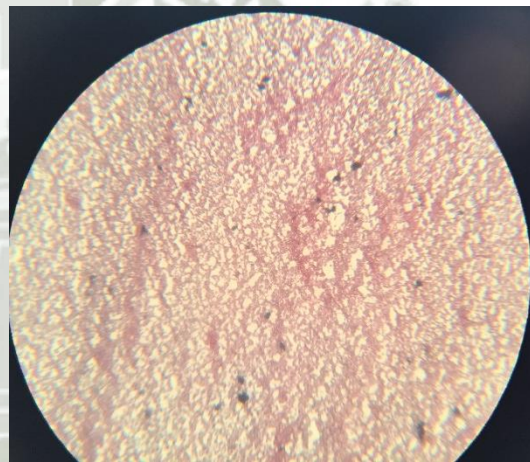
Oveja 1



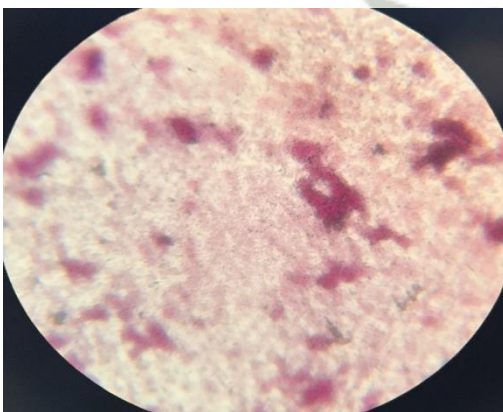
Oveja 2



Oveja 3

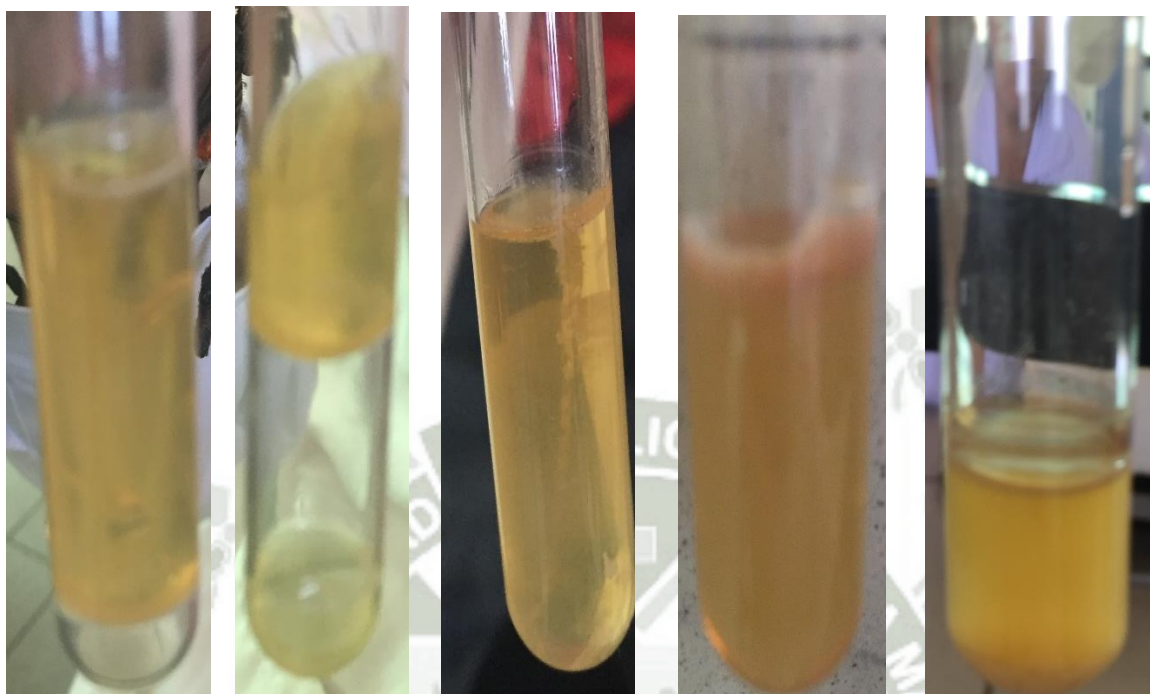


Oveja 4



Oveja 5

Anexo 9. Cepas con capacidad de remoción



Oveja 1

Oveja 2

Oveja 3

Oveja 4

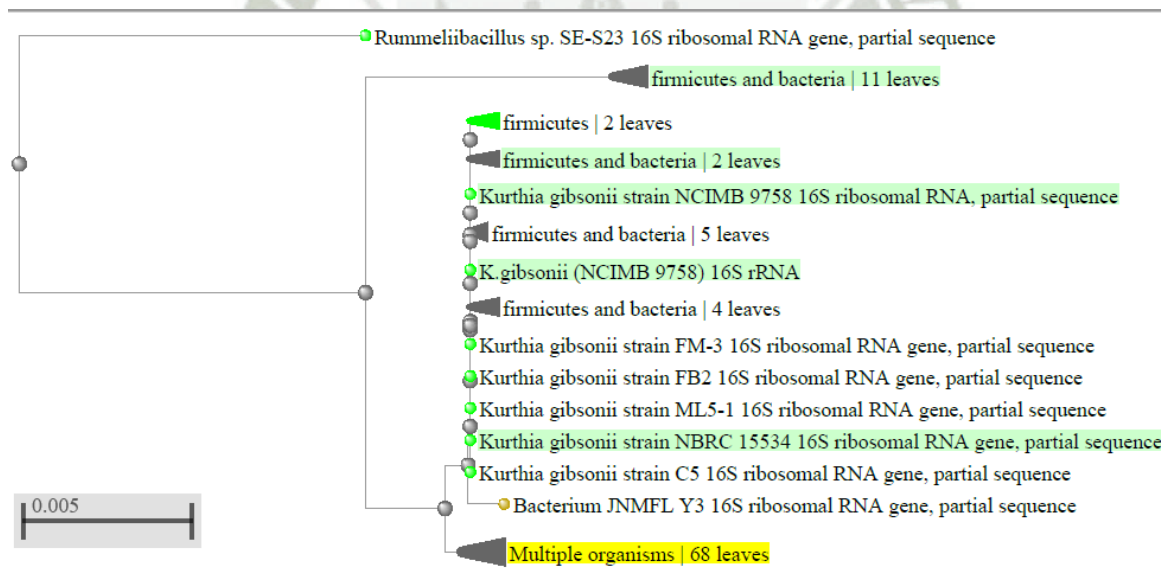
Oveja 5

Anexo10. Secuencia Fasta y árbol Filogenético

Oveja 1:

>D-Oveja1ITOP_27F TRIM QUALITY: 20

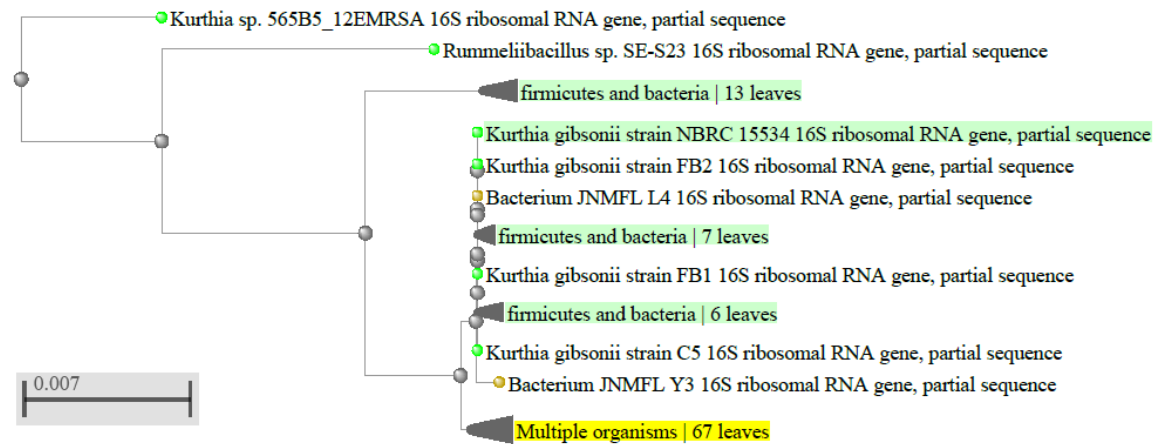
```
CAGTTCGAGCGAATGACGAGAAGCTTGcTtcTCTGAtttagCGGCGGACG
GGTGAGTAACACGTGGGCAACCTGCCCTACAGATCGGGATAACTCAGGGA
AACCTGGGCTAATACCGGATAATCCTTCGAATCACATGTTTTGAAGTTGA
AAGGCGCTTCGGCGTCACTGTAGGATGGGCCCGCGGTGCATTAGCTAGTT
GGTGGGGTAACGGCCTACCAAGGCAACGATGCATAGCCGACCTGAGAGGG
TGATCGGCCACATTGGGACTGAGACACGGCCCAAACCTCCTACGGGAGGCA
GCAGTAGGGAATCTCCACAATGGACGAAAGTCTGATGGAGCAACGCCGC
GTGAGTGATGAAGGTTTTTCGGATCGTAAAACCTCTGTTGTAAGGGAAGAAC
AAGTACGTTAGGAAATGAACGTACCTTGACGGTACCTTATTAGAAAGCCA
CGGCTAACTACGTGCCAGCAGCCGCGGTAATACGTAGGTGGCAAGCGTTG
TCCGGATTTATTGGGCGTAAAGCGCGCGCAGGTGGTTTCTTAAGTCTGAT
GTGAAAGCCCACGGCTCAACCGTGGAGGGTTCATTGGAAACTGGGGAACTT
GAGTGCAGAAGAGGATAGTGGAAATCCAAGTGTAGCGGTGAAATGCGTAG
AGATTTGGAGGAACACCAGTGGCGAAGGCGACTGTCTGGTCTGTAAGTGA
CACTGAGGCGCGAAAGCGTGGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCTGGTAG
TCCACGCCGTAAACGATGAGTGCTAAGTGTTAGGGGGTTTCCGCCCTTA
GTGCTGCAGCTAACGCATTAAGCACTCCGCCTggggAGTACGaccGCAAG
GTTGAAACTCAAAGGAATTGACGGGGGGCCCCGCacaaGCGGT
```



Oveja 2:

>G-Oveja2ITOP_27F TRIM QUALITY: 20

```
GCAGTCGAGCGAATGACGAGAAGCTTGCTTCTCTGATTTAGCGGCGGACG
GGTGAAGTAACACGTGGGCAACCTGCCCTACAGATCGGGATAACTCAGGGA
AACCTGGGCTAATACCGGATAATCCTTTCGAATCACATGTTTTGAAGTTGA
AAGGCGCTTCGGCGTCACTGTAGGATGGGCCCGCGGTGCATTAGCTAGTT
GGTGGGGTAACGGCCTACCAAGGCAACGATGCATAGCCGACCTGAGAGGG
TGATCGGCCACATTGGGACTGAGACACGGCCCAAACCTCCTACGGGAGGCA
GCAGTAGGGAATCTTCCACAATGGACGAAAAGTCTGATGGAGCAACGCCGC
GTGAGTGTGAAGGTTTTTCGGATCGTAAAACCTCTGTTGTAAGGGAAGAAC
AAGTACGTTAGGAAATGAACGTACCTTGACGGTACCTTATTAGAAAGCCA
CGGCTAACTACGTGCCAGACGCCGGTAATACGTAGGTGGCAAGCGTTG
TCCGGATTTATTGGGCGTAAAGCGCGCGCAGGTGGTTTCTTAAGTCTGAT
GTGAAAGCCCACGGCTCAACCGTGGAGGGTCAATTGGAAACTGGGGAACCTT
GAGTGCAGAAGAGGATAGTGGAAATTCGAAGTGTAGCGGTGAAATGCGTAG
AGATTTGGAGGAACACCAGTGGCGAAGGCGACTGTCTGGTCTGTAAGTGA
CACTGAGGCGCGAAAGCGTGGGGAGCAAACAGGATTAGATACCCTGGTAG
TCCACGCCGTanaCGATGAGTGCTAAGTGTAGGGGGTTTTCCGCCCTTA
GTGCTGCAGCTAACGCATTAAGCACTCCGCCTggggaGTACGACCGCAAG
GTtgaactcaaaggAATTGACggGGGCCCCGcacaAGCGtggagcATGT
gggttaattcgAagCAACGCGaagaacCTtaccagGTCTTGACATCCCAA
TGACcGTccT
```



Anexo 11. Planos del Biorreactor UASB

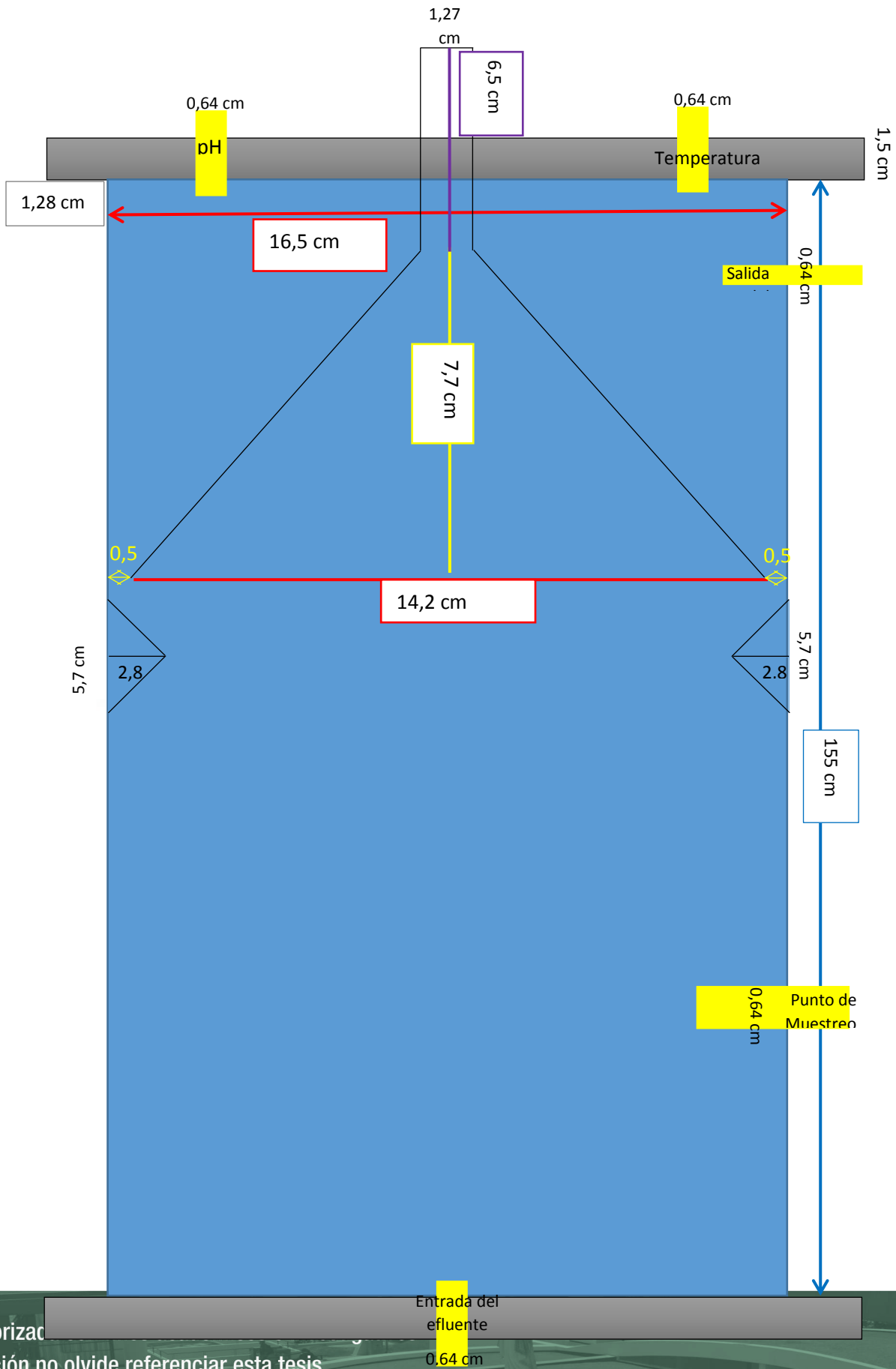
Medidas del Biorreactor UASB

	Biorreactor UASB	Medidas
Lado del reactor	16.5	cm
	0.165	m
Altura del reactor	155	cm
	1.55	m
Altura efectiva	139.5	cm
	1.39	m
Área de la base	272.25	cm ²
	0.027	m ²
Volumen	42198.8	cm ³
	0.04220	m ³
Volumen efectivo	42	L
	37978.88	cm ³
	0.038	m ³
	38	L

Para el cálculo de la altura efectiva se le resto el 10% de la altura total

Medidas de la Campana GLS y los Deflectores

Diseño	Valor	Unidad
Radio de la Campana (Rcampana)	7.1	cm
Altura del tubo de salida (Wg)	6.5	cm
Altura de la campana (Hg)	7.7	cm
Ancho de los deflectores (WD)	2.85	cm
Longitud de los deflectores (LD)	5.7	cm



Anexo 12. Diseño y cálculos de la Campana GLS

Cálculos para Determinar la Campana y Deflectores del Reactor UASB

Velocidad de flujo en la campana (Vc): $VC = 4 \times Va$

$$Vc = 4 \times Va$$

Donde:

Vc: velocidad de flujo en la campana (m/h)

Va: velocidad ascensional (m/h) = 0.4 m/h

$$Vc = 4 \times 0.4 \frac{m}{h}$$

$$Vc = 1.6 \frac{m}{h}$$

Caudal ideal en el biorreactor (Q):

$$Va = \frac{Q}{A}$$

Donde:

Va: velocidad ascensional (m/h) = 0.4 m/h

Q: caudal en el biorreactor (m³/h)

A: área seccional transversal del biorreactor (m²) = 0.027 m²

$$Va = \frac{Q}{A}$$

$$Q = Va \times A$$

$$Q = 0.4 \times 0.027$$

$$Q = 0.0108 \frac{m^3}{h}$$

Área de abertura de la campana (Aabertura):

$$A_{abertura} = \frac{Q}{V_c}$$

Donde:

A abertura: área de abertura de la campana (m²)

Q: caudal en el biorreactor (m³/h) 0.0108 m³/h

Vc: velocidad de flujo en la campana (m/h) 1.6 m/h

$$A_{abertura} = \frac{Q}{V_c}$$

$$A_{abertura} = \frac{0.0108}{1.6}$$

$$A_{abertura} = 0.0067 \text{ m}^2$$

Área de la campana (Acampana):

$$A_{campana} = A_r - A_{abertura}$$

Donde:

Acampana: área de la campana (m²)

AR: área del biorreactor (m²)=0.027 m²

Aabertura: área de abertura de la campana (m²)= 0.0067 m²

$$A_{campana} = A_r - A_{abertura}$$

$$A_{campana} = 0.027 - 0.0067$$

$$A_{campana} = 0.0203 \text{ m}^2$$

Radio de la campana ($R_{campana}$):

$$R_{campana} = \frac{\sqrt{A_{campana}}}{2}$$

Donde:

$R_{campana}$: radio de la campana (m)

$A_{campana}$: área de la campana (m^2) = 0.0203 m^2

$$R_{campana} = \frac{\sqrt{A_{campana}}}{2}$$

$$R_{campana} = \frac{\sqrt{0.0203}}{2}$$

$$R_{campana} = 0.071 \text{ m}$$

Ancho de la abertura ($W_{abertura}$):

$$W_{abertura} = R_r - R_{campana}$$

Donde:

$W_{abertura}$: ancho de la abertura (m)

R_r : radio del biorreactor (m) 0.0825 m

$R_{campana}$: radio de la campana (m) 0.071 m

$$W_{abertura} = R_r - R_{campana}$$

$$W_{abertura} = 0.0825 - 0.071$$

$$W_{abertura} = 0.0115 \text{ m}$$

Altura del tubo de salida (WG):

$$Wg = Rcampana - \frac{1}{2}(Wabertura)$$

Donde:

WG: altura del tubo de salida (m)

Rcampana: radio de la campana (m) 0.071 m

Wabertura: ancho de la abertura (m) 0.0115 m

$$Wg = 0.071 - \frac{1}{2}(0.0115)$$

$$Wg = 0.071 - 0.00575$$

$$Wg = 0.065 \text{ m}$$

Altura de la campana (HG):

$$Hg = Wg \tan \alpha$$

Donde:

HG: altura de la campana (m)

WG: altura del tubo de salida (m) 0.065 m

α : ángulo de la apertura de la campana 50°

$$Hg = Wg \tan \alpha$$

$$Hg = 0.065 (1.19)$$

$$Hg = 0.077 \text{ m}$$

Valor del traslapo en los deflectores (TV):

$$Tv = 1.5 (Wabertura)$$

Donde:

TV: traslapo (m)

Wabertura: ancho de la abertura (m) = 0.0115 m

$$Tv = 1.5 (Wabertura)$$

$$Tv = 1.5 \times (0.0115)$$
$$Tv = 0.017 \text{ m}$$

Ancho de los deflectores (WD):

$$Wd = Tv + Wabertura$$

Donde:

WD: ancho de los deflectores (m)

TV: traslapo (m) 0.017 m

Wabertura: ancho de la abertura (m) 0.0115 m

$$Wd = Tv + Wabertura$$

$$Wd = 0.017 + 0.0115$$

$$Wd = 0.0285 \text{ m}$$

Longitud de los deflectores (LD):

$$Ld = 2 Wd \tan 45^\circ$$

Donde:

LD: Longitud de los deflectores (m)

WD: ancho de los deflectores (m) 0.0285m

$$Ld = 2 Wd \tan 45^\circ$$

$$Ld = 2(0.0285) \tan 45^\circ$$

$$Ld = 0.057 \text{ m}$$

Anexo 13. Reactor Aerobio



Anexo 14. Datos obtenidos de las experimentación de los parámetros: Demanda Química de oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Solidos Suspendidos Totales, Grasas y Aceites.

Reactor UASB: Demanda Química de Oxígeno Datos					
Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH (h)	DQO (mg/l)	TRH (h)	DQO (mg/l)	TRH (h)	DQO (mg/l)
0	1368	0	1478	0	1589
3.175	1080	3.175	1210	3.175	1420
6.35	883	6.35	1065	6.35	1214
9.525	737	9.525	801	9.525	1053
12.7	720	12.7	634	12.7	950
15.875	673	15.875	597	15.875	883
19.05	511	19.05	501	19.05	740
22.225	448	22.225	486	22.225	636
25.4	401	25.4	437	25.4	578

Reactor Aerobio: Demanda Química de Oxígeno Datos					
Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH (h)	DQO (mg/l)	TRH (h)	DQO (mg/l)	TRH (h)	DQO (mg/l)
49.4	387	49.4	401	49.4	483
73.4	345	73.4	385	73.4	404
97.4	285	97.4	318	97.4	375
121.4	263	121.4	289	121.4	349
145.4	195	145.4	220	145.4	247

Reactor UASB: Demanda Bioquímica de Oxígeno Datos

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH (h)	DBO ₅ (mg/l)	TRH (h)	DBO ₅ (mg/l)	TRH (h)	DBO ₅ (mg/l)
0	1200	0	1110	0	1074
3.175	804	3.175	876	3.175	948
6.35	654	6.35	720	6.35	774
9.525	582	9.525	642	9.525	702
12.7	564	12.7	504	12.7	678
15.875	450	15.875	480	15.875	618
19.05	420	19.05	474	19.05	540
22.225	384	22.225	324	22.225	504
25.4	372	25.4	312	25.4	492

Reactor Aerobio: Demanda Bioquímica de Oxígeno Datos

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH (h)	DBO ₅ (mg/l)	TRH (h)	DBO ₅ (mg/l)	TRH (h)	DBO ₅ (mg/l)
49.4	360	49.4	306	49.4	414
73.4	342	73.4	276	73.4	306
97.4	312	97.4	312	97.4	276
121.4	282	121.4	228	121.4	192
145.4	144	145.4	174	145.4	120

Reactor UASB: Solidos Suspendidos Totales Datos

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH	SST (mg/L)	TRH	SST (mg/L)	TRH	SST (mg/L)
0	1023	0	1163	0	1343
3.175	968	3.175	1075	3.175	1078
6.35	918	6.35	928	6.35	999
9.525	804	9.525	804	9.525	814
12.7	751	12.7	699	12.7	779
15.875	571	15.875	551	15.875	701
19.05	514	19.05	455	19.05	654
22.225	409	22.225	369	22.225	510
25.4	365	25.4	327	25.4	475

Reactor Aerobio: Solidos Suspendidos Totales Datos

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH	SST (mg/L)	TRH	SST (mg/L)	TRH	SST (mg/L)
49.4	293	49.4	291	49.4	436
73.4	205	73.4	281	73.4	337
97.4	153	97.4	173	97.4	293
121.4	119	121.4	127	121.4	209
145.4	110	145.4	116	145.4	179

Reactor UASB: Grasas y Aceites Datos

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH (h)	GyA (mg/L)	TRH (h)	GyA (mg/L)	TRH (h)	GyA (mg/L)
0	689	0	750	0	845
25.4	340	25.4	386	25.4	440

Reactor Aerobio: Grasas y Aceites Datos

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3	
TRH (h)	GyA (mg/L)	TRH (h)	GyA (mg/L)	TRH (h)	GyA (mg/L)
49.4	100	49.4	154	49.4	215
145.4	68	145.4	79	145.4	87

Anexo 15. Cálculos para determinar la penalidad impuesta por el DS 001-2015-Vivienda

Se realizaron los cálculos de acuerdo a las especificaciones del DS 001-2015-Vivienda, dentro de los parámetros establecidos para el caso del DBO₅, SST y AyG están dentro del Rango 4 y para el DQO está dentro del Rango 3.

$$F = F \text{ DBO5} + F \text{ DQO} + F \text{ SST} + F \text{ AyG}$$

$$F = 250\%(25\%) + 35\%(35\%) + 200\%(20\%) + 200\%(20\%)$$

$$F = \frac{250}{100} \left(\frac{25}{100} \right) + \frac{35}{100} \left(\frac{35}{100} \right) + \frac{200}{100} \left(\frac{20}{100} \right) + \frac{200}{100} \left(\frac{20}{100} \right)$$

$$F = (2.5 \times 0.25) + (0.35 \times 0.35) + (2 \times 0.2) + (2 \times 0.2)$$

$$F = 0.625 + 0.1225 + 0.4 + 0.4$$

$$F = 1.54$$