

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

ACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Plan de Investigación de fin de carrera titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR UASB A ESCALA DE
LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS.”**

Realizado por:

DAVID ANDRÉS ERAZO CARVAJAL

GUSTAVO ISRAEL SALVADOR MOSQUERA

Director del proyecto:

MAGDALENA DÍAZ

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

2013-2014

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, GUSTAVO ISRAEL SALVADOR MOSQUERA, con cédula de identidad # 171366485-0, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



GUSTAVO ISRAEL SALVADOR MOSQUERA

C.I: 171366485-0

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, DAVID ANDRÉS ERAZO CARVAJAL, con cédula de identidad # 171499848-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



DAVID ANDRÉS ERAZO CARVAJAL

C.I: 171499848-9



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR UASB A ESCALA
LABORATORIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS.”**

Realizado por:

**DAVID ANDRÉS ERAZO CARVAJAL
GUSTAVO ISRAEL SALVADOR MOSQUERA**

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

ha sido dirigido por el/la Profesor (a)

Q.F. MAGDALENA DÍAZ

quien considera que constituye un trabajo original de su autor


Q.F. Magdalena Díaz

DIRECTOR (A)



UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK

DECLARATORIA PROFESORES TRIBUNALES

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

DIRECTOR: Q.F. MAGDALENA DÍAZ

TRIBUNAL 1: MSc. SUSANA CHAMORRO

TRIBUNAL 2: Ing. FABIO VILLALBA

Después de revisar el trabajo presentado, por el alumno DAVID ANDRÉS ERAZO
CARVAJAL y GUSTAVO ISRAEL SALVADOR MOSQUERA

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador


Q.F. Magdalena Díaz
MSc. Susana Chamorro
Ing. Fabio Villalba

Quito, 9 de Septiembre del 2014

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por tanta bondad, salud, y bendiciones que ha dado en mi vida por siempre ser parte fundamental de todas mis actividades.

A mi abuelita Martha por ser mi soporte, mi madre, mi inspiración y por siempre estar a mi lado, es la mujer más noble y dulce que conozco, con cada consejo y vivencia es la persona más importante de mi vida y es mi héroe.

A mis padres por ser el soporte y siempre apoyarme en todas mis decisiones, Mi papá Miguel siempre haciendo lo posible para hacerme feliz y mi mamá Adriana siendo un ejemplo de mujer luchadora y más que todo siempre guiándome para hacer las cosas bien y siempre preocupándose por mi bienestar, al igual que les agradezco por apoyarme a seguir una carrera que nadie conocía y no desanimarme.

A mis hermanos Jhon y Miguel por estar toda la vida a mi lado, y ser un ejemplo para seguir adelante.

A mis amigos de toda la vida y primos que siempre han estado apoyándome desde el comienzo de mi carrera en los buenos y malos momentos, y por ser las personas que más me comprenden.

A una persona especial la cual en el poco tiempo que conozco siempre ha estado a mi lado y es alguien que quiero mucho y espero se quede por el resto de mi vida.

A mis tíos y abuelitos, por ser parte de mi vida y siempre estar pendiente de mí.

A mi directora de tesis Q.F. Magdalena Díaz y mis tribunales Ing. Fabio Villalba y MSc. Susana Chamorro por apoyarnos con la tesis y ser parte fundamental dentro de mi carrera universitaria.

Al ingeniero José Luis Mata por ayudarnos con los muestreos de aguas residuales de la tesis y por la facilidad y cordialidad con las que nos trató.

A mi compañero de tesis Gustavo Salvador por ser un soporte en la tesis y por hacer un trabajo en conjunto excelente y a su familia por aceptarme como un integrante más.

A la Universidad Internacional SEK, y sus laboratorios, por darnos la facilidad para realizar la tesis de grado.

ANDRES ERAZO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios por todas las bendiciones recibidas en este a lo largo de capítulo de mi vida como estudiante.

Quiero agradecer de forma especial al ser que me acompaña todos los días de mi vida y es para mí, la razón de vivir y salir a delante. Todo lo que soy es por ti; Camilo Josué Salvador

Agradezco infinitamente a mis padres y hermanos que amo con el alma; la unión familiar, su apoyo incondicional, mi formación en valores, mi educación académica y su ejemplo es el legado que me han inculcado. Gracias Gustavo, Irma, David y Camilo.

A mi abuelita “Mami Luz” y mis tías “abuelas” que me acompañaron desde el inicio hasta el final de mis años universitarios. Gracias por recibirme y acogerme en todo momento.

A mi amada enamorada que ha sido siempre el apoyo incondicional en mis triunfos y derrotas.

A mis familiares por estar presto siempre a ayudarme.

A mi amigo y compañero de tesis Andrés Erazo por el trabajo arduo y laborado para alcázar nuestro objetivo final.

A la facultad de Ciencias Ambientales por estar siempre dispuestos a colaborarnos y facilitarnos sus instalaciones, equipos y reactivos.

A los profesores miembros del tribunal por ser responsables de haber encaminado este trabajo de forma integral.

Al Ing. José Luis Mata por ayudarnos de forma trascendental en la obtención de las muestras para la tesis.

GUSTAVO ISRAEL SALVADOR MOSQUERA

DEDICATORIA

De: ANDRÉS ERAZO

Dedico mi tesis a las personas más importantes en mi vida mi familia: mis padres Miguel y Adriana, mis hermanos Jhon y Miguel, mi abuelita Martha y las personas que siempre han estado a mi lado acompañándome en todos los momentos duros de mi vida, sin dejarme desanimar y siendo un soporte y ejemplo de responsabilidad y solidaridad y a Dios por sus bendiciones sobre mi familia.

DEDICATORIA

De: GUSTAVO ISRAEL SALVADOR MOSQUERA

Todo este esfuerzo y este logro quiero dedicar a las personas siempre están cerca de mí. A mi hermano Camilo que es la luz de mi vida, a mis padres Gustavo e Irma que son los directos responsables de este logro alcanzado, a mi hermano David que siempre está conmigo en las buenas y malas, al amor de mi vida Estefanía, a mi abuelita Luz y sus consejos, a mis tías que son mi segundo hogar, a mis familiares y amigos

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.1.4. OBJETIVO GENERAL.....	6
1.1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	7
1.1.6. JUSTIFICACIONES.....	7
1.2. MARCO TEÓRICO	10
1.2.1. ESTADO ACTUAL CONOCIMIENTO SOBRE DEL EL TEMA.....	10
1.2.2. ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA	39
1.2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	39
1.2.4. HIPÓTESIS.....	42
1.2.5. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES	42
CAPITULO 2 METODOLOGÍA.....	43
2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA REACTOR UASB SE-K01	43
2.1.1 MATERIAL DEL REACTOR.....	43
2.1.2 ALIMENTACIÓN AL REACTOR.....	44
2.1.3 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB SE-K01	47
2.1.4 ARRANQUE DEL REACTOR UASB SE-K01	51
2.1.5 MUESTREO Y PUNTOS DE MUESTREO.....	53
2.2 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL REACTOR UASB SE-K01.....	55
2.2.1 ARÁMETROS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL.....	55
2.2.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	57
2.2.3 SÓLIDOS.....	57
2.2.4 DETERMINACIÓN DE OTROS PARÁMETROS AMBIENTALES.....	59
2.3 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA.....	60
2.4 ANALISIS ESTADÍSTICO	62

CAPITULO 3. RESULTADOS63

3.1	DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN REACTOR UASB .63
3.1.1	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR UASB SE-K0163
3.1.2	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB SE-K01.....64
3.1.3	MODO DE OPERACIÓN DEL REACTOR UASB SE-K0167
3.2	DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL REACTOR UASB SE- K01.....68
3.2.1	CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS68
3.2.2	CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS71
3.2.3	CARACTERIZACIÓN INICIAL VS FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS74
3.3	RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS85
3.4	RESULTADOS ESTADÍSTICOS87
3.5	RESULTADOS FINANCIEROS.....88

CAPITULO 4 DISCUSIÓN91

4.1	CONCLUSIONES.....91
4.1	RECOMENDACIONES.....94

BIBLIOGRAFÍA.....95

ANEXOS.....101

INDICE DE TABLAS

Tabla N°. 1: Reacciones Bioquímicas en la Digestión Anaerobia.....	18
Tabla N°. 2: Valores Aproximados de Carga Orgánica Volumétrica en Relación a la Temperatura.....	30
Tabla N°. 3: Tabla de Sólidos	33
Tabla N°. 4: A.1 Parámetros Permisibles. Ord. 213	36
Tabla N°. 5: A.2 Parámetros Ambientales para el Sector Productivo. Ord. 213	37
Tabla N°. 6: Parámetros Ambientales Permisibles. TULAS	37
Tabla N°. 7: Características De La Bomba.....	44
Tabla N°. 8: Cálculos del Reactor UASB SE-K01	47
Tabla N°. 9: Composición del Lodo Activado	52
Tabla N°. 10: Muestras	53
Tabla N°. 11: Descripción Metodológica de Varios Parámetros	59
Tabla N°. 12: Medios Específicos	60
Tabla N°. 13: Dimensiones del Reactor UASB SE-K01	63
Tabla N°. 14: Parámetros de Funcionamiento del Reactor UASB SE-K01	67
Tabla N°. 15: Caracterización Inicial del Agua Residual de la Industria de Embutidos Cárnicos.....	68
Tabla N°. 16: Parámetros Ambientales de Una Sola Medición. (Iniciales)	70
Tabla N°. 17: Caracterización Final del Agua Residual de la Industria de Embutidos Cárnicos.....	71
Tabla N°. 18: Parámetros Ambientales Iniciales de Una Sola Medición. (Finales)	73
Tabla N°. 19: Porcentajes de Eficiencia	75
Tabla N°. 20: Resultados Microbiológicos.....	85
Tabla N°. 21: Estadística de los Pares	87
Tabla N°. 22: Resultado de la T-pareada.....	87
Tabla N°. 23: Resultados Financieros.....	88
Tabla N°. 24: Costo Operacional del Reactor UASB por Tratamiento en 19 Horas.....	89
Tabla N°. 25: Comparación Económica	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°. 1: Diagrama de Flujo de la Fabricación de Embutidos Cárnicos.....	13
Gráfico N°. 2: Fases de la Digestión Anaerobia.....	17
Gráfico N°. 3: Estructura Molecular del PMMA.....	26
Gráfico N°. 4: Bomba Peristáltica	27
Gráfico N°. 5: Funcionamiento y Estructuración de una Bomba Peristáltica.	27
Gráfico N°. 6: Eficiencias de Remoción y TRH para Diferentes Sistemas Anaerobios	28
Gráfico N°. 7: Diseño De La Campana GSL del reactor UASB SEK-01	64
Gráfico N°. 8: Modelo en 3D del Reactor UASB SE-K01.....	65
Gráfico N°. 9: Reactor UASB SE-K01.....	65
Gráfico N°. 10: Partes del Reactor UASB SE-K01	66
Gráfico N°. 11: Campana GSL del reactor UASB SE-K01.....	66
Gráfico N°. 12: DQO de Entrada vs DQO de Salida.....	76
Gráfico N°. 13: Gráfico N°. 10: Análisis Del DQO con Respecto al Tiempo.....	77
Gráfico N°. 14: DBO de entrada vs DBO de salida.....	78
Gráfico N°. 15: Gráfico Sólidos Totales de Entrada vs Salida.....	79
Gráfico N°. 16: Sólidos Sedimentables Entrada vs Salida	80
Gráfico N°. 17: Gráfico de Sulfatos de Entrada vs Salida.....	81
Gráfico N°. 18: Gráfico de Nitrógeno Amoniacal Entrada vs Salida.....	82
Gráfico N°. 19: Gráfico de la Turbidez de Entrada vs Salida.....	83
Gráfico N°. 20: Gráfico De Color Entrada vs Salida.....	84
Gráfico N°. 21: Gráfico del pH Dentro del Reactor	85

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N°. 1: Fabricación de Puntos de Muestreo	55
Imagen N°. 2: Equipo de DQO para Reflujo Abierto	57
Imagen N°. 3: Equipo de DBO	57
Imagen N°. 4: Medición de Sólidos Totales	58
Imagen N°. 5: Medición de Sólidos Fijos	58
Imagen N°. 6: Conos Imhoff	59

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N°. 1: Tablas de Otros Autores	101
ANEXO N°. 2: Protocolos	103
ANEXO N°. 3: Tablas de resultados	123
ANEXO N°. 4: Planificación del proyecto	125
ANEXO N°. 5: Imágenes del Reactor	126
ANEXO N°. 6: Imágenes del de Resultados Microbiológicos	129

RESUMEN

Se diseñó un reactor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) a escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales de la industria de elaboración de embutidos cárnicos con base a un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 19 horas, un volumen total de 23 litros. Para el arranque del reactor se utilizó un manto de lodos anaerobio con zeolitas, cloruro de aluminio, fosfato de calcio y fosfato de amonio como inóculo. La proporción fue de 10% de lodo y 90% de agua residual, a un caudal de 20 mL/min. El reactor se alimentó en forma continua. El tiempo de activación de las bacterias y arranque fue de 40 días. El porcentaje de remoción de materia orgánica denominado DQO fue de 91,97%, en DBO 68,15 % y ST de 80,15%. Se hizo un análisis bacteriano obteniendo los siguientes grupos: bacterias anaerobias mesófilas 2.8×10^6 (UFC/g), *Enterobacterias* 1.3×10^4 (UFC/g), *Pseudomonas* 1.0×10^5 (UFC/g). Se mantuvo la temperatura constante del sistema a 35°C mediante un sistema de automatización PID y existe un pH constante, otra variación en el estudio fue utilizar un pre-filtrado. La conclusión de este estudio para obtener gran eficiencia del reactor UASB SE-K01 se basa en el diseño del reactor, remoción de contaminantes, reducción de parámetros ambientales y una alta tasa de digestión anaerobia.

ABSTRACT

UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) reactor at laboratory scale was designed to treat wastewater from the meat processing industry based to a hydraulic retention time (HRT) of 19 hours, a total volume of 23 liters. For starting the reactor a blanket of anaerobic sludge containing zeolites, aluminum chloride, calcium phosphate and ammonium phosphate was used as inoculum. The ratio was 10% of sludge and 90% wastewater at a flow rate of 20 mL / min. The reactor was fed continuously. The activation time for bacterias and start up time of the reactor was 40 days. The percentage of organic matter removal was called COD 91.97%, 68.15% BOD and 80.15% ST. Mesophilic anaerobic bacteria 2.8×10^6 (CFU / g), 1.3×10^4 *Enterobacteria* (CFU / g), 1.0×10^5 *Pseudomonas* (CFU / g) .It kept constant temperature system: obtaining a bacterial analysis did the following groups 35°C through PID automation system and exists a constant pH, another variation in the study was used a pre-filtering. The conclusion of this study to obtain high efficiency of the UASB reactor SE-K01 is based on the design of the reactor, pollutant removal, reduction of environmental parameters and a high rate of anaerobic digestion.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales de la industria de fabricación de embutidos cárnicos es una problemática ambiental, económica y social, sobre la cual existen muchas investigaciones y trabajos para incorporar e innovar dichos sistemas. El presente estudio propone la incorporación de la tecnología UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) a escala de laboratorio para el funcionamiento y depuración de aguas residuales, de esta forma se promoverá el conocimiento y el desarrollo de una nueva tecnología para el tratamiento de aguas contaminadas con residuos provenientes de este tipo de industrias.

Las plantas procesadoras de embutidos elaboran una variedad de productos cárnicos como, jamones, salchichas, mortadelas, tocinetas, y otros productos que provienen de la carne de res, aves y principalmente de cerdos. La elaboración de estos productos implica la generación de aguas residuales, las mismas que están cargadas de componentes como: contaminantes orgánicos, nutrientes y grasas que afectan al ambiente. Por lo tanto, es necesario un tratamiento de aguas residuales eficiente que disminuya los parámetros y cumplan con las normativas ambientales vigentes en el Ecuador.

El proyecto tiene la finalidad de construir un reactor UASB para un tratamiento eficaz de aguas residuales provenientes de la elaboración de embutidos cárnicos y cumplir con los límites de la ley establecidos con la Ordenanza Metropolitana del Distrito Municipal de Quito N° 213 y el TULAS (Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria), de esta forma se crea una estrategia válida para un mejor manejo del agua, no se alteran los ecosistemas y se garantiza la conservación del recurso.

Esta tecnología avanzada se basa en procesos metabólicos realizados por bacterias, las mismas que generan productos en la digestión anaerobia. La utilización de agua en procesos industriales debe incluir el tratamiento y reúso del agua, disminuir costos, y reducir al mínimo el uso de agua potable o de cauce natural.

Para la selección de un sistema de tratamiento de aguas hay que tomar en cuenta la naturaleza del agua residual cruda y la disposición final de su efluente.

La construcción de un biorreactor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) para tratamiento de aguas residuales permite manipular la estabilidad del proceso y un mejor control operacional, con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el estudio. Adicionalmente el reactor UASB promoverá el estudio continuo del sistema de tratamiento, por parte de los estudiantes y profesores involucrados en la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

1.1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antiguamente las aguas residuales eran vertidas directamente sobre cuerpos receptores naturales como los ríos, lagos, mares, océanos, etc. Los efluentes generan un cambio en la estructura de los ecosistemas y contaminación ambiental, con la finalidad de remediar y corregir estas alteraciones de las condiciones naturales se ha creado estrategias de conservación del agua (Gallego, 2006)

El tratamiento del agua residual se realiza en la etapa previa al vertido en los cuerpos receptores, de esta forma se reduce la concentración de contaminantes en los ríos, lagos, mares y océanos; por otra parte se evita la contaminación del agua y los ecosistemas; impide la proliferación de ciertos patógenos al ambiente (Nemerow & Avijit, 1998)

Las aguas residuales se caracterizan por tener altas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y patógenos. El agua residual es el resultado de todas las actividades antropogénicas. El tratamiento de aguas residuales nace con la finalidad de remediar el impacto ambiental que generan sus descargas y velar por la salud humana (López, 2011).

El agua residual generada en un proceso de elaboración de embutidos cárnicos, proviene de operaciones como cocción, refrigeración y limpieza de la planta. Esta agua está caracterizada por altas tasas de carga orgánica como son: grasas, proteínas, sangre, detergentes y aditivos, por lo cual existen grandes contaminantes del agua que se desean tratar antes de sus descargas al alcantarillado.

1.1.1.1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

La industria de embutidos cárnicos involucra una serie de procesos que requieren el consumo de grandes cantidades de agua y al mismo tiempo se generan residuos. La mezcla de los residuos y el agua generan las aguas residuales; que se definen como agua que ha sido modificada por el uso industrial, doméstico y agricultura entre otros (Nemerow & Avijit, 1998; Gallego, 2006).

Las empresas de acuerdo a las reformas ambientales de actualidad en el país, se ven obligadas a la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Es por esta razón que actualmente se está aplicando nuevas alternativas biotecnológicas para el tratamiento de la misma.

Los vertidos de la industria que producen los embutidos cárnicos, generan graves problemas de contaminación por su alto contenido de carga orgánica (DQO y DBO₅), sólidos en suspensión y grasas, muchos de estos componentes nutritivos como el nitrógeno pueden causar eutrofización. Un aspecto a tomar en cuenta son las grasas ya

que se genera problemas de atrapamiento y atascamiento de tuberías, y en los tratamientos biológicos dificultan la difusión de oxígeno.

Un tratamiento biológico de agua implica el uso de bacterias en presencia o ausencia de oxígeno. En el presente trabajo se plantea el uso de la tecnología del reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA o UASB) para efluentes de la industria de embutidos cárnicos.

El concepto y sistema del reactor UASB fue propuesto por el profesor Gatzke Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda en 1970, que se basa en la depuración de aguas residuales mediante la digestión anaerobia de bacterias a través de un flujo ascendente. Con el paso de los años esta tecnología ha sido renovado con el fin de mejorar y garantizar el tratamiento de aguas residuales, obteniendo agua libre de contaminantes que se pueda reutilizar en procesos o a su vez para el vertido en cuerpos receptores eliminado riesgo a la salud y ambiente (Conil, 2013).

El desarrollo de nuevas tecnologías se ve implementado en principios microbiológicos y bioquímicos, estos reactores con procesos microbiológicos en su interior mejoran su estabilidad y funcionamiento cuando los microorganismos están atrapados dentro del reactor, este reactor resulta ventajoso con otros sistemas de tratamiento del alta gama, porque puede tratar aguas residuales de altas tasas de carga orgánica, requiere baja energía, su operación no es complicada y es económicamente rentable para cualquier empresa (Halalsheh, 2008)

1.1.1.2. PRONÓSTICO

La información obtenida en este estudio será el producto de la biodegradación de contaminantes mediante bacterias anaeróbicas. Los cálculos de diseño detallaran el dimensionamiento del reactor con respecto al volumen que se desea manejar. Es posible

que un mal diseño sea totalmente relevante para la actividad metabólica de las bacterias causando valores de remoción no esperados.

Para el óptimo funcionamiento se deben controlar los parámetros ambientales tales como: la temperatura que es el factor ambiental más importante en la degradación, pH, presencia de macro elementos, toxicidad en la digestión anaerobia, y el principal limitante del proceso es reducir los tiempos de retención hidráulica en relación con la carga orgánica volumétrica. Es necesario la formación de lodo granular anaerobio para el éxito de la etapa de arranque y la eficiencia del tratamiento con un reactor UASB.

1.1.1.3. CONTROL DE PRONÓSTICO

Dentro del diseño y construcción de un reactor UASB a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos es necesario determinar el tipo de materiales que serán utilizados, garantizar que sea de fácil manejo, generar un manual de operación, guía de manejo y mantenimiento. Para concretar lo ya mencionado, se llevarán a cabo varios ensayos que confirmen los buenos resultados en la depuración del agua residual.

El lodo anaerobio posee gran capacidad de sedimentabilidad, el contacto suficiente entre el lodo y el agua residual se ve generado por la agitación que ocurre por la producción de gas. Para mantener un proceso de las bacterias anaeróbicas mesófilas se debe controlar el pH en un rango de 6,5 y 7,5 para que se produzca metano, la temperatura que necesitan las bacterias anaeróbicas varía entre 30-35 grados centígrados, por lo que, se puede usar un controlador Proporcional Integral Derivativo (PID) para un sistema de control de temperatura. Además el tratamiento biológico requiere de nutrientes para el crecimiento de bacterias los cuales pueden ayudar al metabolismo bacteriano.

Las nuevas tecnologías anaerobias de tratamiento de aguas han llamado la atención por sus numerosas ventajas. El éxito de los reactores UASB se basa en el tiempo retención hidráulica del lodo dentro del reactor, que aumenta la eficiencia de la digestión anaerobia.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La construcción y diseño de un reactor UASB a escala de laboratorio permitirá la depuración de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos?

1.1.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es porcentaje de remoción de contaminantes en el tratamiento con el reactor UASB?

¿Cómo es el funcionamiento del reactor UASB tipo *batch* o continuo?

¿Cómo serán los tiempos y condiciones de operación?

¿Qué parámetros ambientales del agua residual de la producción de embutidos cárnicos cumplirán con de la normativa de descargas de aguas residuales en el distrito metropolitano de Quito después del tratamiento?

¿Cómo el metabolismo bacteriano participa en las fases de la digestión anaeróbica?

1.1.4. OBJETIVO GENERAL

Construir un reactor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*), a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria de embutidos cárnicos.

1.1.5. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a) Diseñar un reactor UASB a escala laboratorio, estableciendo un modo de operación eficiente para que el reactor sea eficaz en la remoción de contaminantes en el agua residual de la industria de embutidos cárnicos.
- b) Analizar la eficiencia del reactor UASB en la depuración de agua residual proveniente de la industria de embutidos cárnicos.
- c) Caracterizar los grupos microbianos responsables de la digestión anaerobia que permite la degradación de la materia orgánica y reducción de los parámetros ambientales en el tratamiento de aguas residuales para la industria de embutidos cárnicos.

1.1.6. JUSTIFICACIONES

Debido a los problemas de contaminación ambiental y por cumplir con las normativas es necesario que las aguas residuales de las empresas de fabricación de embutidos cárnicos realicen un tratamiento a sus efluentes previo a su vertido. Es posible realizar un tratamiento biológico a través de la digestión anaeróbica mediante el uso y manejo de bioreactores.

Justificación Teórica.

La tecnología de tratamiento de aguas residuales UASB posee ventajas en comparación a los distintos tratamientos, estas son: que el éxito se basa en la retención del lodo dentro del reactor. El reactor UASB ha probado ser efectivo en remoción de contaminantes orgánicos por poseer las siguientes características: soportar elevada carga orgánica volumétrica (COV), alta tasa de retención de la biomasa, bajos costos de inversión económica y mantenimiento. Esto hace que sea una tecnología óptima para la eliminación de: proteínas, grasas y aceites, y patógenos presentes en el agua residual generada por la fabricación de embutidos cárnicos.

El problema se centra en el uso indiscriminado del agua para los diferentes procesos al igual que el crecimiento de la población y necesidad de mayor abastecimiento, en si las aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos genera un efluente líquido caracterizado por su elevada carga orgánica, sólidos en suspensión, grasas, y en menor medida cloruros, sulfatos y detergentes. Por lo cual es necesario un proceso de tratamiento de aguas residuales, previo al vertido en un sistema de alcantarillado o cuerpo de agua.

Los microorganismos anaerobios son organismos que se desarrollan y crecen en ausencia de oxígeno. Es posible utilizar el metabolismo de estas bacterias para la degradación contaminantes como: grasas, aceites, carbohidratos, proteínas, y aditivos. Siempre y cuando se elaboren ambientes con las condiciones idóneas para la reproducción, crecimiento y desarrollo de las comunidades bacterianas anaeróbicas (Guardia, 2012).

Debido a que las bacterias anaerobias tienen una velocidad de crecimiento baja, solamente es posible conseguir lodos activados después de un largo tiempo de adaptación. Los microorganismos se adhieren y se agregan unos a otros formando flocs que se mantienen dentro del reactor (Conil, 2013).

Justificación Metodológica.

Mediante el uso de lodos bacterianos provistos por la empresa productora de embutidos, y conociendo su actividad metabólica anaerobia, se realizará una serie de reacciones dentro del reactor como son las etapas de: hidrólisis, acetogénesis, acidogénesis y metanogénesis, en las cuales las bacterias degradaran los diferentes contaminantes del agua dando como resultado final un proceso de depuración exitoso, y la disminución de los parámetros ambientales de arranque.

Justificación Práctica.

El tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos a nivel de laboratorio permitirá entender el funcionamiento del sistema y como operaron las distintas variables para aumentar la remoción de los contaminantes. De esta manera se adquirirá la experiencia y el conocimiento para la construcción futura de un reactor UASB a escalas superiores.

La tecnología UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*), fue desarrollada de forma comercial a partir de 1980 en Europa para el tratamiento aguas residuales de industrias con concentraciones de DBO superiores a 1.000 ppm (Conil, 2013). En el país el conocimiento de este tipo de tecnologías se encuentra rezagada, pese a que países vecinos, ya han implementado los reactores UASB como uno de los principales reactores para tratar sus efluentes. El estudio y construcción de reactores UASB permitirá tratar de forma eficiente las aguas residuales, reducir la contaminación de los ríos, lagos y océanos; conservar nuestros ecosistemas íntegros y reducir los riesgos a la salud de los habitantes.

Los reactores del tipo UASB presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación y mantenimiento), producción pequeña de lodos excedentes, consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento (Ramírez & Koetz, 1998). Esto hace que sea una tecnología de desarrollo actual con beneficio económico, energético y ecológicamente sustentable.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. ESTADO ACTUAL CONOCIMIENTO SOBRE DEL EL TEMA

1.2.1.1 EL AGUA

El agua es el componente vital de la mayoría de organismos vivos, constituye la mayor parte de extensión sobre la Tierra, los océanos poseen el 97% de agua salada mientras que el 3% restante es de los glaciares, el agua dulce consumible para el ser humano abarca un 0,01%. (Howard, 2003).

Una persona consume alrededor de 13 galones diarios para realizar sus labores como: cocina, consumo, higiene personal, etc. Por esta razón existe la necesidad de buscar mayores fuentes de abastecimiento, otro problema es el mal uso del agua ya que muchas empresas utilizan este recurso para sus diferentes procesos. Como consecuencia se genera descargas de aguas residuales a las principales fuentes de cauces naturales como ríos, lagunas y océanos (Nothwehr, 2010).

Existe una incertidumbre que se ve proyectada por datos de las Naciones Unidas en los cuales advierten que en los próximos 50 años la población aumentara en un 50% y junto a este crecimiento, habrá mayor urbanización e industrialización. Esto generará mayor demanda de agua fresca, por lo cual existirá un conflicto socio-ambiental, que puede crear una crisis poniendo en riesgo la salud de las poblaciones afectadas (Nothwehr, 2010).

En el Ecuador, el 6,3% de las aguas residuales promedio recibe algún tipo de tratamiento, siendo a nivel urbano el 7% y a nivel rural el 5%. Desde el año 70 se emprendió en el Ecuador una política para tratar aguas residuales adaptándose a la tecnología existente, y se utilizó pantanos artificiales con tanques de desinfección,

tecnología adecuada para las condiciones sociales y económicas del momento. La contaminación del agua se puede definir como la presencia de impurezas de tal naturaleza y cantidad que perjudiquen el uso del agua para un propósito determinado (Coral, 2013).

1.2.1.2 IMPACTOS AMBIENTALES

Los mataderos, las plantas de procesamiento de carne y embutidos generan gran cantidad de residuos sólidos y líquidos. En general estos efluentes, tienen altas temperaturas, elementos patógenos, además de altas concentraciones de nitrógeno y compuestos orgánicos (Romero, 1999). El exceso y alta concentración de estos componentes pueden causar una eutrofización de los lagos y lagunas (Udeh, 2004).

La materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales exige un agotamiento de oxígeno disuelto, esto genera olores fuertes e indeseables. Por lo cual se provoca cambios en las condiciones del agua (Romero, 1999).

Los sólidos suspendidos que se encuentran en las aguas residuales producen acumulaciones como depósitos de lodos y aumento en la turbidez en el agua (Goel, 2006).

1.2.1.3 EMBUTIDOS Y PRODUCCIÓN

Son productos preparados sobre la base de una mezcla de carne picada de res, pavo, ave o cerdo condimentados con sal, especias, aditivos y grasa animal que son introducidos en tripas (artificiales o sintéticas) resistentes. De acuerdo a la clasificación industrial internacional los embutidos se encuentran en la categoría C-1010.22 que hace referencia al procesamiento de productos cárnicos (Ministerio de Ambiente, 2006).

Materia Prima:	Se da la recepción de materia prima en un lugar cerrado herméticamente y pasa al área de deshuese, donde la carne es almacenada por un tiempo.
Acondicionamiento:	Se da el descongelamiento de las carnes que se utilizan para la fabricación del embutido.
Curación:	Se procede a la salmuera de diferentes productos y se agregan condimentos.
Picado y pesaje:	En el picado se busca reducir el tamaño de la materia prima para el procesamiento y se pesa la cantidad que existe.
Molienda:	Se reduce y se producen residuos de la carne
Mezclado y Emulsificación:	Se busca mezclar con una composición homogénea.
Embutido:	Se procede a manufacturar el producto en una tripa natural o sintética que luego pasara a un proceso de cocción y enfriada.
Envasado y Etiquetado:	Se verifica que haya un producto de calidad y se comercializa al mercado.

(Ministerio de Ambiente, 2006).

Un diagrama de flujo del proceso es el siguiente:

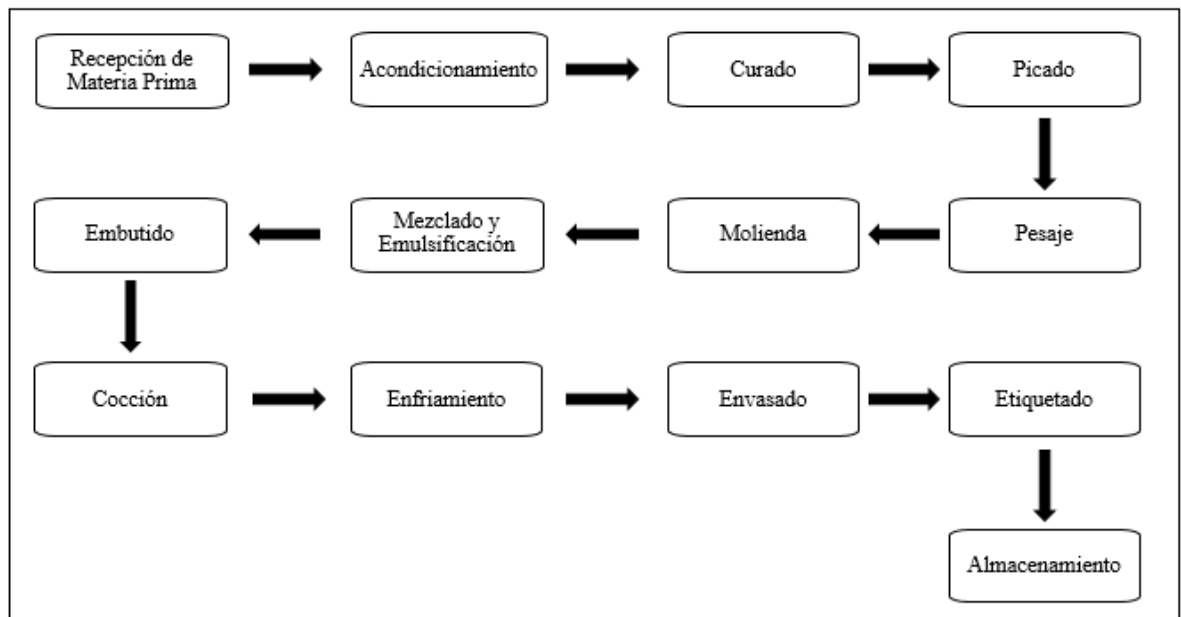


Gráfico N°. 1: Diagrama de Flujo de la Fabricación de Embutidos Cárnicos

Fuente: Ministerio de Ambiente, 2006

Modificado: Erazo & Salvador, 2014

La fábrica de elaboración de embutidos posee gamas de salchichería, jamones, parrilladas y carnes empacadas al vacío. La planta cuenta con áreas de deshuese, producción, mantenimiento, empaque, suministro, administración, bodega. Su finalidad es generar ingresos económicos a través de la producción y comercialización de sus productos sin descuidar los beneficios de sus trabajadores y el bienestar de su entorno (Ministerio de Ambiente, 2006).

1.2.1.4 DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia está caracterizada por una serie de procesos bioquímicos, en la cual microorganismos en ausencia de oxígeno ayudan a tratar residuos orgánicos en una serie de fases:

La primera fase se denomina hidrólisis en la cual compuestos orgánicos complejos como los polisacáridos, proteínas y carbohidratos son reducidos a azúcares, aminoácidos y ácidos grasos. Las siguientes fases son la acidogénesis y acetogénesis en

donde los grupos intermedios son degradados por bacterias acidogénicas a ácidos grasos volátiles. Por último está el proceso de metanogénesis, donde, las bacterias acetoclásticas y hidrogenotróficas producen metano por la conversión del acetato y la vía del H_2 - CO_2 , respectivamente. (Gerardi, 2003).

Debe existir mucho cuidado dentro del reactor ya que hay varios grupos de bacterias que difieren en términos fisiológicos, cinética de crecimiento y sensibilidad a las condiciones ambientales. Mantener el balance entre las poblaciones bacterianas hidrolíticas-acidogénicas y acetogénicas-metanogénicas requiere de un control preciso en las condiciones ambientales (Gerardi, 2003).

Fase de hidrólisis

Los géneros más frecuentes de bacterias hidrolíticas son de la familia *Enterobacteriaceae* entre ellos: *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Clostridium*, *Micrococcus*, *Staphylococcus* (Gerardi, 2003).

Bacteroides: Son bacterias anaerobias Gram-negativas que no poseen esporas. Se ha demostrado que la fermentación de carbohidratos es llevada a cabo por especies de *Bacteroides sp* y producen un conjunto de ácidos grasos volátiles (Fukuzaki, 1990)

Peptostreptococcus: Bacteria Gram positiva, no poseen esporas, son anaerobias, de crecimiento lento y poseen resistencia a los fármacos (Fukuzaki, 1990).

<i>Peptostreptococcus:</i>	Son bacterias anaerobias Gram positiva de crecimiento lento. Participa en la producción de amoníaco a partir de los aminoácidos o los hidrolizados proteicos. (Fukuzaki, 1990).
<i>Clostridium:</i>	Es la bacteria más representativa de este grupo, convierten la glucosa y algunos aminoácidos en ácido butírico, acético, CO ₂ y H ₂ (Fukuzaki, 1990).
<i>Micrococcus:</i>	Su metabolismo es oxidativo/fermentativo, la glucosa es oxidada a acetato o dióxido de carbono y agua. (Fukuzaki, 1990).
<i>Staphylococcus:</i>	Su metabolismo es fermentativo, hay producción de ácido a partir de glucosa, lactosa y manitol. (Fukuzaki, 1990).

El mecanismo de fermentación anaerobia acidogénica, describe el proceso de hidrólisis de compuestos complejos como proteínas, carbohidratos y aminoácidos, al igual que la formación de ácidos grasos volátiles como el ácido acético, propiónico, butírico y valérico. Estos compuestos posteriormente van a ser degradados en la fase metanogénica (Fukuzaki, 1990).

Los ácidos orgánicos volátiles son importantes intermediarios en la digestión anaerobia ya que pueden alcanzar altas concentraciones, produciendo una disminución del pH. Esto provoca un estrés en las bacterias metanogénicas, que afectan la estabilidad y eficiencia del proceso metanogénico (Fukuzaki, 1990).

Fase de acetogénesis

Las bacterias acetogénicas llevan a cabo la oxidación mediante los organismos OHPA (organismos acetógenos productores obligados de hidrogeno) dentro de este grupo se conocen: *Syntrophomonas sapovorans*, *Syntromonas wolfei*, *Syntrophus buswellii* (Gerardi, 2003).

Syntrophomonas sapovorans: Es una bacteria anaeróbica y de rápida oxidación. Los productos de fermentación como el propionato y el butirato son oxidados a acetato, CO₂ y H₂ (Gerardi, 2003).

Syntromonas wolfei: Es una bacteria anaerobia, de oxidación acida. Los productos de fermentación como el propionato y el butirato son oxidados a acetato, CO₂ y H₂ (Gerardi, 2003).

En la acetogénesis tienen un papel importante los parámetros que afectan al reactor como son: carga orgánica, eficiencia de operación y estabilidad. Los ácidos libres volátiles son convertidos a ácido acético y posteriormente se transforman a metano. Varias condiciones afectan a la producción de metano y la inhibición de bacterias metanogénicas siendo la más relevante, la disminución del pH (Gerardi, 2003).

Los micronutrientes como el sodio, potasio, calcio y magnesio son necesarios para un óptimo desarrollo bacteriano. Estas sustancias estimulan el crecimiento específico de bacterias metanogénicas, pero el exceso de estos componentes produce una reacción inhibitoria (Gerardi, 2003).

Las bacterias características del proceso de metanogénesis son la methanosaeta y methanosarcina:

Methanosaeta: Es una arquea, eucariota, anaeróbica que soporta más de 50 grados centígrados. Producen CH₄ como único producto final (Gerardi, 2003).

Methanosarcina: Es una arquea, el único organismo metanogénico que produce metano por las 3 fases de la metanogénesis, tiene cambios morfológicos durante su crecimiento en cambios unicelulares y multicelulares (Gerardi, 2003).

Las poblaciones microbianas para el tratamiento anaeróbico son diversas y conforman un sistema complejo que se lo puede dividir en fases: (Gráfico N°. 2)

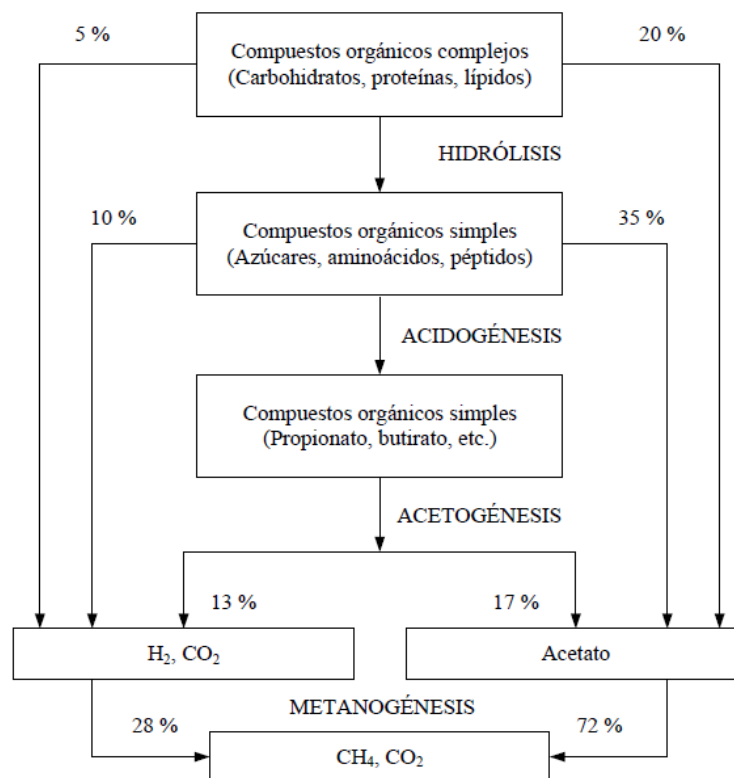


Gráfico N°. 2: Fases de la Digestión Anaerobia
Fuente: Specce, 1996

Tabla N°. 1: Reacciones Bioquímicas en la Digestión Anaerobia

Tipo de Reacción	Ecuación
Fermentación de glucosa a acetato	Glucosa+ 4H ₂ O → CH ₃ COO+4H+4H ₂
Fermentación de glucosa a butirato	Glucosa + 2H ₂ O → C ₄ H ₇ O ₂ +2HCO ₃ +3H+2H ₂
Fermentación del butirato a acetato e H ₂	Butirato + 2H ₂ O → 2CH ₃ COO+H+H ₂
Fermentación del propionato a acetato	Propionato + 3H ₂ → CH ₃ COO+H+H ₂
Acetogénesis a partir de H ₂ y CO ₂	HCO ₃ +H+4H ₂ → CH ₃ COO+2H ₂ O
Metanogénesis a partir del CO ₂ e H ₂	HCO ₃ +4H ₂ → CH ₄ +3H ₂ O
Metanogénesis a partir del acetato	Acetato+H ₂ O → CH ₄ +HCO ₃ +H

Fuente: Zinder, 1984

La actividad metabólica es directamente proporcional a la cantidad relativa de bacterias viables de los diferentes grupos dentro de la digestión anaerobia. Por ejemplo algunos autores encontraron $3,8 \times 10^6$ bacterias en el proceso de hidrólisis. Según (Duborguier, Prensier, & Samain, 1985) se encontraron organismos anaerobios mesófilos como las *Syntrophobacter*, que son indispensables para el consumo de propionato, butirato, etanol y ácidos grasos (Dolfing, Griffioen, & van Nerveen, 1985).

Otro grupo importante presente en digestores anaerobios, son las bacterias hidrolíticas-fermentativas que pertenecen a diferentes grupos que pueden ser facultativos como: bacterias *Ácido Lácticas*, *Enterobacterias* y *Pseudomonas* (Dolfing, Griffioen, & van Nerveen, 1985). Los sustratos que se pueden catalizar son todos productos del metabolismo de bacterias fermentadoras, estas se pueden subdividir en 2 grupos metabólicos: oxidadoras completas, que oxidan el sustrato, incluyendo el acetato en CO₂. Por otro lado están las oxidadoras incompletas cuyos productos finales son acetato, CO₂ y S. El propionato, butirato y los ácidos grasos son oxidados completos hasta CO₂ o convertidos hasta acetato (Guiot, Gorur, & Berg, 1985).

Las *Pseudomonas* son los microorganismos más abundantes en los gránulos de lodos anaerobios, estos organismos ayudan a la desnitrificación y metanogénesis. Los *Bacilos*

formadores de endoesporas se encuentran en la hidrólisis de azúcares su cinética es rápida, mientras que para la conversión de proteínas y aminoácidos es lenta (Guiot, Gorur, & Berg, 1985).

1.2.1.5 REACTOR UASB

La tecnología a implementar para el tratamiento de aguas se denomina UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), fueron concebidos durante los años 1970, por el profesor Gatze Lettinga de la Universidad de Wageningen en Países Bajos mientras en Europa se buscaba un tratamiento de aguas de efluentes industriales, cuyas temperaturas eran tibias y calientes, propias de empresas que empleaban procesos como la fermentación y en las cuales existía un DBO mayor a 1000 ppm (Conil, 2008). Por esto la utilización de la tecnología UASB, entro en competitividad en el mercado, tenía un buen nivel de remoción de Sólidos Suspendidos, bajaba del DQO y DBO y no afectaba la temperatura (Conil, 2008).

Una empresa belga denominada BIOTEC comenzó con la construcción industrial de plantas para tratamiento de aguas residuales en uso de tecnología UASB en América Latina, que tenía como objetivos caracterizar los lodos, la calidad del agua, y crear una sostenibilidad socio-ambiental, tenía un equipo de científicos en la mayoría de países como Holanda, Colombia, Brasil, España, Italia, India y México que ya tenían experiencia en efluentes agroindustriales para el desarrollo de la tecnología de aguas domésticas (Conil, 2000)

En Colombia se creó la primera planta de Sudamérica que se la llamo Cañaveralejo, se realizó este proyecto con el apoyo del gobierno de Holanda, se denominó “Empresas Públicas Municipales de Cali – EMCALI” (Planta El Vivero-1988- 45 L/s) (Conil, 2000). En Brasil la escuela de Ingenieros de San Carlos dio el nacimiento a una escuela

llena de profesionales innovadores y fueron los primeros en aplicar estos sistemas en ciudades grandes como Sao Paulo, Belo Horizonte y Paraná (Conil, 2000).

En México los primeros en desarrollar esta tecnología UASB fueron la Universidad Autónoma de México y la Universidad Metropolitana (Monroy, 1996). En India, el sistema se desarrolló con el impulso inicial de la Cooperación Holandesa, y un primer proyecto de 58 L/s en la ciudad de Kampur en 1989 (Monroy, 1996). Hoy en día es el sistema promovido por Estado para la descontaminación de toda la cuenca del río Ganges (Monroy, 1996).

La Cuenca del Ganges es la segunda región de aplicación masiva de la tecnología UASB después del Estado de Paraná en Brasil. La sencillez del sistema y sus bajos costos de operación hicieron que se expanda esta tecnología, todas las plantas confirmaban remociones de 65% en Sólidos Suspendidos y DQO, y el DBO igual era muy bajo y el procedimiento tenía un costo alrededor de 30 USD por habitante (Monroy, 1996). En 1983 se construyeron 35 plantas de tratamiento de aguas residuales, con 3 plantas que utilizaban tecnología UASB, a las orillas del río Ganges que se encuentra en India con una capacidad total de 598.000 m³/d y un TRH de 10.7 h, con un costo de 5.000.000 USD aproximadamente 30 USD por habitante (Herbert & Fang, 2010)

Resumen de Resultado de Algunas Plantas UASB (Schellinkhout, 2006).

- Cañaveralejo, Cali, Colombia, 1983 (UASB 60 m³)
- Cetesb, Sao Paulo, Brasil, 1987 (UASB 120 m³).
- El Vivero, Cali, Colombia, 1988 (UASB 1.000 m³)
- Kampur 1, India, 1989 (UASB 1.200 m³).
- Río Frío, Bucaramanga, Colombia, 1991 (UASB 6.600 m³)

- San Antonio, Sololá, Guatemala, 1995 (UASB 325 m³)
- San Bartolo, Sololá, Guatemala, 1998 (UASB 660 m³)
- Atuba, Brasil (UASB 25.000 m³).
- Piracicamirina, Brasil (UASB 8.300 m³).
- Restrepo, Colombia, 2000 (UASB 700 m³)

(Schellinkhout, 2006).

El diseño del UASB cuenta con un separador de fases, en la cual, se separa la biomasa en suspensión del agua tratada y de biogás formado (Lettinga, 1986). El funcionamiento de los reactores UASB es una actividad regulada por diferentes tipos de bacterias que metabolizan materia orgánica y la transforman en metano y dióxido de carbono. Esto genera la formación de un lodo activado dentro del reactor. Estos procesos metabólicos realizados por bacterias aumentan la eficiencia del reactor y la formación de gránulos que posteriormente son sedimentados por el reactor. (Lettinga, 1986).

En los siguientes estudios de aguas residuales existen comparaciones de reactores para diferentes procesos industriales:

Se hizo la comparación de reactores UASB + CSTR en el estudio de moliendas de textiles de algodón y se observó un porcentaje de remoción total de DQO del 83-97% con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 17h. En otro estudio se usaron 2 reactores UASB +CSTR (reactor de tanque con agitación continua) para la lechada de residuos sólidos alimenticios y se obtuvo un porcentaje de remoción total de DQO del 96-98% con un TRH de 1.25 d (Chan *et al.*, 2009).

Por otra parte un estudio del reactor UASB+LA (lodos activados) en un proceso de agua residual municipal y agua residual de la molienda de aceitunas se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO del 95-96% con un TRH de 28.3h. Otro estudio del reactor

UASB+AFB (lecho aerobio fluidizado) para un proceso de agua residual textil sintética no se obtuvo remoción de DQO a un TRH de 2.7 a 3.2 h (Chan *et al.*, 2009). Estos datos fueron extraídos del documento de Chan *et al.*, (2009) y se presentan en el Anexo 1.1

1.2.1.6 PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR UASB

Un bioreactor es un contenedor donde ocurren una serie de reacciones y procesos biotecnológicos, en el cual su éxito depende del conocimiento de las reacciones biológicas y condiciones de reacción. Existen 3 modos de operación de un reactor (Caicedo, 2006):

Discontinuo o batch: Es aquel reactor en el cual no entra ni sale material durante la reacción, sino, al inicio del proceso se introducen los materiales. Se lleva a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un período de tiempo. Luego se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos.

Semicontinuo o fed-batch: Los nutrientes son ingresados al reactor de forma continua o semi continua, y no hay efluente en el sistema; según la adición intermitente del sustrato se mejora la productividad.

Continuo: Alimenta y retira productos del bioreactor continuamente.

El tratamiento anaeróbico de la materia orgánica se da por microorganismos naturales los cuales producen metano y compuestos de dióxido de carbono.

El residuo a tratar en reactor el UASB ingresa por la parte inferior del reactor, en este caso aguas residuales utilizadas en el procesamiento de embutidos. Este sube de manera ascendente y toma contacto con un lodo biológico que se encuentra de forma granular. Al entrar en contacto el agua con el lodo biológico genera gases como el metano y el

dióxido de carbono que se producen anaeróbicamente, estos gases salen por la parte superior del reactor (Lorenzo & Obaya, 2006).

Al subir las partículas de los lodos y tomar contacto con el gas llegan a la zona en la que se encuentran los deflectores que no permiten que salgan del sistema y vuelvan a caer para formar parte del manto de lodos. Lo que se busca es mejorar las condiciones de sedimentación y las condiciones físicas y químicas de la floculación para la retención del lodo en el reactor (Lorenzo & Obaya, 2006).

La formación del lodo granulado y la eficiencia en el proceso de degradación anaeróbica dependen de: pH, temperatura, sedimentación y disponibilidad de nutrientes. La actividad biológica dentro del reactor depende de la cantidad de microorganismos, tiempo de adaptación y su crecimiento (Lorenzo & Obaya, 2006).

La actividad de los lodos aumenta la capacidad de producir gas metano en el reactor, y la concentración del lodo en la zona de dispersión garantiza un buen funcionamiento del separador. La degradación biológica que ocurre en el reactor elimina sustancias contaminantes y crea un metabolismo bacteriano beneficioso para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de embutidos cárnicos (Lorenzo & Obaya, 2006).

La factibilidad del proceso se debe a un bajo consumo energético, baja producción de fangos y se produce calor y energía que podrían ser aprovechados para las diferentes operaciones unitarias que cumple el proceso de elaboración de embutidos (Lorenzo, Yaniris, & Rojas, 2010).

La campana gas – sólido – líquido (GSL) es fundamental para el reactor, ya que mantiene al efluente clarificado, mantiene el lodo sedimentable y permite la separación de gases, sólidos y líquidos. Sus objetivos en el reactor son:

- Permite el desplazamiento de lodo dentro del compartimiento de digestión.
- Previene el lavado de lodo granular flotante.
- Sirve como barrera para expansiones excesivas del manto de lodos, dentro del sedimentador.

Hay que tomar en cuenta que la parte primordial de un reactor biológico es el inóculo, debe tener un número grande de microorganismos. Las condiciones deben ser las adecuadas para un fácil adaptación y actividad se recomienda una cantidad del 10 al 20% de la capacidad total del reactor (Lorenzo, Yaniris, & Rojas, 2010).

La finalidad del reactor es reducir los parámetros ambientales especialmente la Demanda Química de Oxígeno y tener un porcentaje de remoción alrededor del 80%, el cual cumpla con las normativas ambientales de descargas líquidas que se encuentran vigentes en la legislación ecuatoriana y municipal (Lorenzo, Yaniris, & Rojas, 2010).

Los sistemas UASB se definen como la planta de tratamiento más importante cuando el afluente corresponde a aguas residuales de industria de alimentos. Debido a que, al presentar descargas continuas de residuos como rumen, vísceras y aceites minerales los reactores son notoriamente eficientes (Cubillos, Rivera, & Sanabria, 2003).

1.2.1.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN TRATAMIENTO DE AGUAS

RESIDUALES REALIZADO POR UN REACTOR UASB.

Ventajas:

- Requerimiento nutricional bajo
- Baja producción de lodos
- Bajos costo de operación ya que no requiere oxígeno
- Costo de inversión bajos
- El consumo de potencia es bajo, ya que no requiere agitación mecánica

- Los lodos se conservan por largos períodos de tiempo.

Desventajas:

- Puede requerir un postratamiento del efluente
- Genera malos olores por la producción de metano
- El arranque es un proceso lento
- No se conoce el desarrollo para aplicaciones específicas, por su poca experimentación.

1.2.1.8 MATERIALES Y FORMA DEL REACTOR

El vidrio acrílico fue creado por primera vez en 1928 en Alemania y presentando comercialmente en 1933. El plexiglás es uno de los diferentes nombres como también es conocido el polimetilmetacrilato (PMMA), este material desde sus inicios tuvo amplia acogida en el mercado debido a su fácil manejo, transporte, durabilidad, resistencia y gran precisión al cortar, moldear, doblar, pulir, esmerilar, pegar, pintar (ACRILUX S.A., 2013).

El vidrio acrílico es una material que presenta las siguientes propiedades.

- Se sintetiza un 1 kg de polimetilmetacrilato a partir de 2 kg de petróleo.
- La termoformación es a temperaturas entre 85°C -165°C.
- La densidad del PMMA es de 1,150 kg/m³ a 1,190 kg/m³.
- Fuerza de impacto superior al cristal o poliestireno.
- Presenta alta estabilidad ambiental y óptimo para uso en exteriores.
- El PMMA tiene baja resistencia a solventes.
- El plexiglás se caracteriza por una alta firmeza estructural y evita la corrosión de CO₂.

- En el caso de una falla en la permeabilidad del reactor, el polimetilmetacrilato presenta buena resistencia a la ácido sulfúrico (H_2SO_4) producido por la reacción entre el metano y oxígeno atmosférico.

(ACRILUX S.A., 2013; Caicedo, 2006).

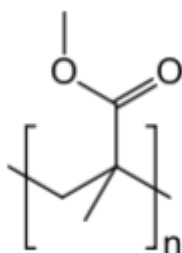


Gráfico N°. 3: Estructura Molecular del PMMA
Fuente: ACRILUX S.A., 2013

Los reactores de tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), desde su inicio se ha planteado de forma cilíndrica, con el objetivo de tener una distribución uniforme en el interior del reactor. Un reactor cilíndrico evita la existencia de zonas muertas; es decir, lugares donde el agua queda empozada. Los reactores tubulares se utilizan generalmente para reacciones gaseosas como también para reacciones en fase líquida, dicha estructura favorece a la transferencia de masa y energía (Towler & Sinnott, 2008).

1.2.1.9 ALIMENTACIÓN AL REACTOR

El reactor UASB SE-K01 se mantiene en constante funcionamiento. La entrada de afluente al reactor está determinada de acuerdo al caudal de la bomba, tiempo de retención hidráulica y la carga orgánica volumétrica. La bomba recomendada según varios autores es una bomba peristáltica.

1.2.1.9.1 BOMBA

Las bombas peristálticas son ideales para trabajar con agua y lodos, en el trasiego, dosificación y regulación de los mismos. Estas bombas son de tipo bomba hidráulica, de desplazamiento positivo y no generan flujo de aire. El mecanismo de succión consiste en la compresión de la manguera ubicada entre tres patines simétricamente colocadas y un rotor giratorio. El rotor obliga al desplazamiento del fluido por delante del patín y a su vez la parte posterior del patín al restablecer su forma crea el efecto succión en boca del afluente. Las bombas peristálticas no permiten el retroceso de caudal debido a la fuerza de compresión aplicada a la manguera (FlowRox, 2012; Albim Alh, 2013).

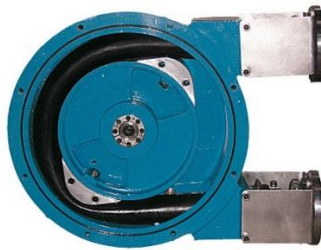


Gráfico N°. 4: Bomba Peristáltica
Fuente: Tapflo, 2014

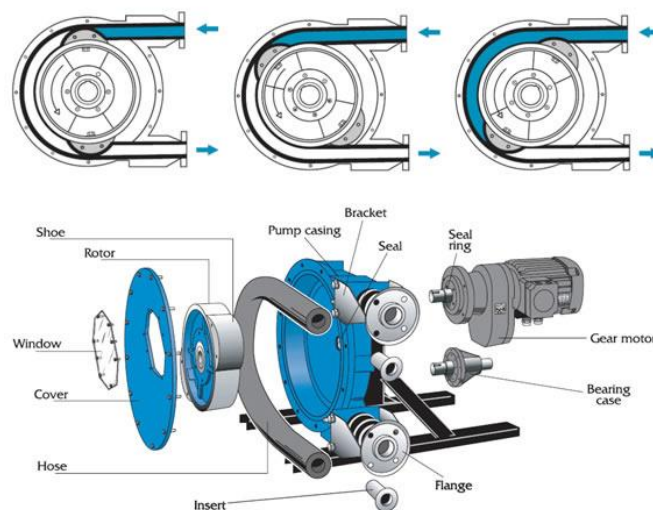


Gráfico N°. 5: Funcionamiento y Estructuración de una Bomba Peristáltica.
Fuente: La Llave S.A., 2009

1.2.1.9.2 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)

El tiempo de retención hidráulica (TRH) es el tiempo en que el agua residual permanece dentro del reactor UASB y en contacto con la biomasa (Nadais, Capela, Arroja, & Duarte, 2001). En otro tipo de reactores se define como tiempo de residencia (τ) también conocido como tiempo de remoción. El τ se precisa como el tiempo que permanece una partícula en un sistema. El TRH o τ se expresan matemáticamente como el volumen de un reactor sobre el caudal (Davis & Masten, 2004).

En 1994 Van Haandel y Lettinga proponen una tabla que compara la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno y el tiempo de retención hidráulica para todos los sistemas de tratamiento anaerobio. Con objetivo de alcanzar 80% de efectividad del reactor UASB SE-K01 en el proceso de depuración del agua residual de la industria de embutidos cárnicos se puede determinar según el siguiente gráfico, donde, el tiempo mínimo de TRH están entre 5 y 10 horas.

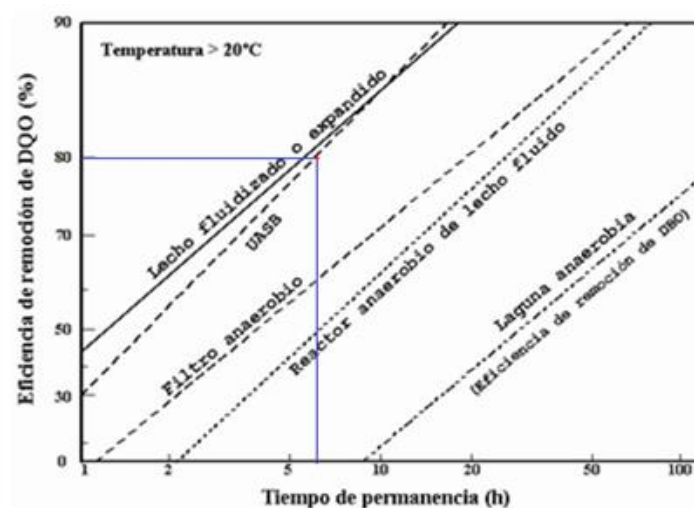


Gráfico N°. 6: Eficiencias de Remoción y TRH para Diferentes Sistemas Anaerobios
Fuente: Van Haandel & Lettinga, 1994

El TRH debe ser mayor a 4 horas para que el reactor pueda llevar a cabo un tratamiento y este valor se ve influenciado por la temperatura ambiental. (Lettinga & Hulshoff, Diseño de reactores anaerobicos para tratamiento de aguas residuales solubles no complejas., 1989; Van Haandel & Lettinga, 1994).

1.2.1.9.3 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA

La carga orgánica volumétrica (COV) o también conocido como ORL por sus siglas en inglés *Organic Loading Rate* es el valor que describe la cantidad de kilogramos de materia orgánica seca que es cargada por cada metro cúbico del reactor y las unidades de tiempo (SEAI, 2003). Las cargas orgánicas volumétricas aplicadas (COV) variables afectan la eficiencia del reactor y, por lo tanto, dificultan su estabilización.

En estudios hechos sobre reactores UASB a diferentes cargas orgánicas volumétricas y bajas temperaturas se observaron que a pesar de las grandes fluctuaciones en la calidad del efluente y de la COV, la eficiencia de remoción de DQO permaneció entre 48 y 57% en el tratamiento. (Esparaza, 2011)

1.2.1.9.4 VELOCIDAD ASCENDENTE DEL FLUJO

Este parámetro es de gran importancia para determinar el contacto entre la biomasa y el sustrato, es directamente proporcional la altura del reactor e inversamente proporcional al TRH (Grady, Daigger, & Lim, 1999).

En un estudio hecho para evaluar el reactor UASB a escala industrial con cambios de velocidad resultó que a una velocidad ascendente de alimentación de 0.5 m/h, se presentó la menor pérdida de biomasa, y una eficiencia de remoción de DQO de 94% (Iñiguez C. , 2011).

1.2.1.10 FACTORES AMBIENTALES.

1.2.1.10.1 TEMPERATURA

La eficiencia del proceso dentro del reactor depende directamente de la temperatura, esta variable es el factor ambiental determinante en la digestión anaerobia, debido a que ésta altera la actividad enzimática de las bacterias (Van Haandel & Lettinga, 1994). Las temperaturas óptimas del proceso se encuentra en el rango mesófilo (30°C - 40°C) y el rango termófilo cercano a 55°C (Henzen & Harremoes, 1983; Zábranská, Štěpová, Wachtl, Jeníek, & Dohányos, 2000). Es recomendable que el proceso se lleve a cabo en un valor por debajo de la temperatura óptima para la digestión anaerobia (30 a 35°C) (Lettinga, y otros, 1983).

Lettinga *et. al.* (1983) propone una tabla para el diseño de reactores UASB en base a la temperatura y la carga orgánica volumétrica.

Tabla N°. 2: Valores Aproximados de Carga Orgánica Volumétrica en Relación a la Temperatura

Temperatura (°C)	Carga Orgánica Volumétrica kg DQO/m ³ .d
40	15 – 25
30	10 – 15
20	5 – 10
15	2 – 5
10	1 – 3

Fuente: Lettinga *et. al.*, 1983

Quito es una ciudad que presenta temperaturas entre los 4°C hasta los 22°C debido a su ubicación geográfica en la cordillera de los Andes. La mayor parte de la población de Quito se encuentra ubicada a una altura promedio de 2815 m.s.n.m., teniendo una temperatura promedio de 14°C (Echanique, 2008).

La temperatura determina la actividad metabólica de los microorganismos, si aumenta la temperatura aumenta la velocidad de crecimiento de los mismos, para sistemas anaerobios a temperaturas mayores a 20 °C se permite eficacias de remoción de 55-75% de DQO, de 65-80% en DBO y de 67-81% de SS. La temperatura es una de las variables más importantes en los procesos anaerobios, su eficacia disminuye en valores menores a 15°C. Por lo cual un entendimiento de la digestión anaerobia mejorará la estabilidad del proceso, incrementar la concentración de compuestos orgánicos solubles y optimizar la remoción de nutrientes. (Herrera, Gonzáles, & Gonzáles, 2011)

La temperatura favorece la transferencia líquido-gas, por lo cual si desciende la temperatura la solubilidad de los gases como NH_3 y H_2S no afecta el crecimiento del crecimiento de microorganismos anaerobios. (Herrera, Gonzáles, & Gonzáles, 2011)

1.2.1.10.2 pH

La variación del pH es una variable significativa en la concentración de Ácidos Grasos Volátiles (AGV), los mismos que influyen en la producción de gas metano (Caicedo, 2006).

La acumulación elevada de los AGV por encima de 3000mg/L provoca la disminución del pH, afectando principalmente al proceso de metanogénesis, estabilidad y eficiencia del reactor UASB SE-K01. Por otra parte en el 2003 los autores Yu y Fang determinaron que el grado de acidificación es proporcional a la temperatura (Yu, Tay, & Fang, 2001) (Buyukkamaci & Filibeli, 2004)

1.2.1.11 PARÁMETROS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL

1.2.1.11.1 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Se utilizan una serie de parámetros ambientales para la medida de la concentración orgánica de aguas residuales, los dos métodos más frecuentes para determinar en aguas residuales son el DBO y DQO. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química de materia orgánica presente en aguas residuales, mientras que la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos puedan degradar biológicamente la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales (Henry J. G., 1999).

1.2.1.11.2 SÓLIDOS

Los sólidos hacen referencia a la materia suspendida o que se encuentra disuelta en materia acuosa. Las características físicas incluyen materia en suspensión, materia coloidal, materia sedimentable (APHA, 1992).

El análisis de Sólidos Totales en muestras de agua por desecación es la metodología más utilizada, entre sus aplicaciones se encuentran: determinaciones de sólidos, fracciones fijas y lodos aislados en aguas residuales entre otros (APHA, 1992).

Mientras que los sólidos en suspensión se encuentran en el agua sin estar disueltos. En la siguiente tabla se presenta los tipos de sólidos y como se determinan:

Tabla N°. 3: Tabla de Sólidos

Sólidos	Determinación
Sólidos Sedimentables	Indican la cantidad de sólidos en el agua que pueden sedimentarse a partir de un volumen de muestra dada en un periodo de tiempo.
Sólidos En Suspensión	La diferencia de peso de un sólido filtrado, por el cual se hace pasar a la muestra.
Sólidos Totales	Se secan en un rango de temperatura de 103-105°C. Permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua.

Fuente: Henry, 1999

1.2.1.11.3 OTROS PARÁMETROS

Los sulfatos en un reactor anaeróbico pueden ser un gran problema para la producción del gas metano debido a que las bacterias metanogénicas compiten por el mismo sustrato con las bacterias sulfato-reductoras. Como consecuencia de esta competencia la producción de ácido sulfhídrico y metano es limitada (Varnero M. , 2011).

El ión sulfato es uno de los principales componentes en aguas naturales, se encuentra en diferentes concentraciones que pueden variar en varios miles de mg/L. En las aguas residuales es un factor importante que indica características como olores fétidos y corrosión, estos problemas son resultados de la reducción de sulfatos a ácido sulfhídrico bajo condiciones anaerobias (Lomeli, 2007). Las bacterias reductoras del sulfato pertenecen al grupo de anaerobios obligados (UNAC, 2011).

El nitrógeno amoniacal N-NH₃ está presente en el agua residual, en los lodos y también se puede producir en las reacciones que se llevan a cabo dentro del reactor. El nitrógeno amoniacal es la suma del ion amonio (NH₄⁺) y del amoníaco (NH₃), compuesto que están relacionados con el pH.



Los cloruros se encuentran en el agua natural y proceden de la dilución de los suelos y rocas, además se presentan por la inclusión de aguas negras. La presencia de concentraciones altas representan un problema en la calidad de agua (Coral, 2013).

Los fenoles son sustancias derivadas del fenol (hidroxibenceno o bencenol), son sustancias muy tóxicas en estado puro, los tratamientos mecánicos o por electrocoagulación no tienen efecto sobre los fenoles, se pueden encontrar en aguas residuales con aceites (Irving & Lewis, 1989).

Los detergentes son sustancias tensoactivos y anfipáticas con la propiedad química de eliminar manchas y muy utilizados para la limpieza, al igual conocidos como sulfonatos de alquilbenceno lineales (Irving & Lewis, 1989)

Los aceites y grasas son conocidos como sustancias solubles en hexano, poseen elevado peso molecular. Su presencia en el agua indica el aumento de DQO. Este parámetro se encuentra en elevadas concentraciones en aguas negras, grises, que representan un 10% de la materia orgánica de estas aguas. Son pocos solubles en agua por ser hidrófobas, y solubles en disolventes orgánicas (Coral, 2013).

El pH es la magnitud que expresa la acidez o alcalinidad. Es una forma de expresar la concentración de hidrógeno. En el área de generación de recursos hídricos, es un factor a tomar en cuenta para la coagulación química, ablandamiento de agua y control de la corrosión. En el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos, el pH se debe mantener en un valor favorable para el crecimiento de los microorganismos (Coral, 2013).

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es un indicador de la materia ionizable total que se encuentra en el agua.

La unidad de la medida de la conductividad son los microsiemens por centímetro (Cardenas, 2010)

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz. Las partículas insolubles que producen la turbidez, pueden presentarse por procesos de arrastre, movimientos de tierras, vertidos de aguas residuales o industriales (American Society Testing Materials, 1988)

El color es un parámetro físico que no siempre es un indicativo de contaminación. Es necesario diferenciar entre el color verdadero, debido al material de la solución y el color aparente debido a la materia suspendida (Coral, 2013)

La temperatura, es una magnitud escalar relacionada con la parte de la energía interna que se llama cinética que está asociada al movimiento de partículas dentro de un sistema, muchos microorganismos necesitan para su crecimiento un óptimo de temperatura. En el caso del reactor anaerobio UASB se mantiene a 35 grados centígrados, por lo cual están dentro del rango de microorganismos mesófilos anaerobios (Cardenas, 2010).

1.2.1.12 NORMATIVAS Y PARÁMETROS AMBIENTALES PARA LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito tiene como misión proporcionar el mejoramiento continuo de la calidad de vida de la comunidad, para lo cual aplicará los principios: “Precaución, Reducción en la fuente, Responsabilidad Integral y Quien Contamina Paga”.

Dispone, el Art. II.381.45 de la Ordenanza Metropolitana N° 213 el cual determina la elaboración de normas técnicas de calidad ambiental y de emisión, descargas y vertidos que optimicen los procesos y permitan contar con la información necesaria para mejorar

la gestión ambiental. Los límites permisibles por un cuerpo receptor para el Distrito Metropolitano de Quito se encuentran en la tabla A.1 y en la tabla A.2 que indica los parámetros fundamentales de control en la industria dependiendo de su tipo de actividad, en este caso, el procesamiento de embutidos (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2008)

Tabla N°. 4: A.1 Parámetros Permisibles. Ord. 213

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	
			ALCANTARILLADO	CAUCE DE AGUA
Aceites Y Grasas	A y G	mg/L	100	50
Aluminio	Al	mg/L	5,0	5,0
Arsénico Total	As	mg/L	0,1	0,1
Cadmio	Cd	mg/L	0,02	0,02
Caudal Máximo	-	L/s	1,5 veces el caudal (1)	4,5 dato referencial
Cianuro	CN ⁻	mg/L	1,0	0,1
Cobre	Cu	mg/L	1,0	1,0
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁵	mg/L	0,5	0,5
Compuestos Fenólicos	Expresado Como Fenol	mg/L	0,2	0,2
Fósforo Total	P	mg/L	15	10
Hidrocarburos Totales	TPH	mg/L	20	20
Materia Flotante	Visible	-	Ausencia	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/L	10,0	2
Mercurio (Total)	Hg	mg/L	0,01	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0	2,0
Organoclorados Totales	Concentración	mg/L	0,05	0,05
Plomo	Pb	mg/L	0,5	0,2
Potencial De Hidrogeno	pH		5-9	5-9
Sólidos Sedimentables	-	mg/L	10	1,0
Sulfuros	S	mg/L	1,0	0,5
Sulfatos	SO ₄	mg/L	400	1000
Temperatura	-	°C	<40	<35
Tensoactivos	MBAS (2)	mg/L	0,5	0,5
Zinc	Zn	mg/L	2,0	2,0

Fuente: Dirección Metropolitana Ambiental, Resolución No 003, Capítulo III. 14 de Octubre 2005

Dentro de la ordenanza municipal N°. 213 del Distrito Metropolitano de Quito se establece una tabla de los parámetros ambientales para todos los sectores productivos, exceptuando al sector textil y al sector de bebidas gaseosas, embotelladoras y cervecería.

Tabla N°. 5: A.2 Parámetros Ambientales para el Sector Productivo. Ord. 213

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible	
			Junio 2008 A Mayo 2010	Junio 2010
Demanda Bioquímica De Oxígeno (5 Días)	D.B.O ₅	mg/L	146(A) 96 (C)	120 (A) 70 (C)
Demanda Química De Oxígeno	D.Q.O	mg/L	292 (A) 168 (C)	240 (A) 123 (C)
Sólidos Suspendidos	Ss	mg/L	116 (A) 72 (C)	95 (A) 53 (C)

Fuente: Dirección Metropolitana Ambiental, Resolución No 003, Capítulo III.14 Octubre 2005

TULAS (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria) es otra normativa vigente a nivel país. La presente norma técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. (Presidencia de la República del Ecuador, 2008). En la Tabla N°.6, se describen los límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que requieren tratamiento convencional.

Tabla N°. 6: Parámetros Ambientales Permisibles. TULAS

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias Solubles en Hexano	mg/L	0,3
Aluminio	Ay	mg/L	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/L	1,0
Amonio	NH ⁴	mg/L	0,05
Arsénico (Total)	As	mg/L	0,05
Bario	Ba	mg/L	1,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,01
Cianuro (Total)	CN ⁻	mg/L	0,1
Cloruro	Cl	mg/L	250
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 mL		3000
Coliformes Fecales	nmp/100 mL		600
Color	Color Real	Unidades De Color	100
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/L	0,002
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁵	mg/L	0,05
Demanda Bioquímica De Oxígeno (5 Días)	DBO ₅	mg/L	2,0

Dureza	CaCO ₃	mg/L	500
Bifenilo Policlorados/Pcbs	Concentracion de PCBs	ug/L	0,0005
Fluoruro (Total)	F	mg/L	1,5
Hierro (Total)	Fe	mg/L	1,0
Manganeso (Total)	Mn	mg/L	0,1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (Total)	Hg	mg/L	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/L	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/L	1,0
Olor Y Sabor			Es permitido olor y sabor removible por el tratamiento convencional
Oxígeno Disuelto			No es menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata(Total)	Ag	mg/L	0,05
Plomo (Total)	Pb	mg/L	0,05
Potencial De Hidrógeno	pH		6-9
Selenio(Total)	Se	mg/L	0,01
Sodio	Na	mg/L	200
Sólidos Disueltos Totales		mg/L	1000
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/L	400
Temperatura		°C	Condición Natural
Tensoactivos	Sustancias Activas Al Azul De Metileno	mg/L	0,5

Fuente: Presidencia de la República del Ecuador, 2008

Norma INEN para Embutidos, en el Ecuador existe El Instituto Ecuatoriano de Normalización (1996), el cual regula una serie de procesos industriales entre ellos la producción de alimentos cárnicos para lo cual se establece, la norma NTE INEN 1 338:96, sobre productos cárnicos, salchichas, y señala los siguientes requisitos:

- El agua empleada en todos los procesos de elaboración de la salmuera, hielo y enfriamiento de envases o productos, debe cumplir con los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 1108.
- El agua debe ser potable y tratada con hipoclorito de sodio, de tal manera, que exista cloro residual menor a 0,5 mg/L.
- Para las salchichas crudas, a nivel de expendio se recomienda como valor máximo del Recuento Estándar de Placa: $1,01 \times 10^6$ UFC/g.

(INEN, 1996)

1.2.2. ADOPCIÓN DE UNA PERSPECTIVA TEÓRICA

La utilización de microorganismos, por su metabolismo de diferentes compuestos ha sido un gran avance en la tecnología microbiana para degradar una amplia gama de contaminantes. El uso de reactores acoplados al proceso ha incrementado la operación y eficiencia de la cinética bacteriana. En 1986 se creó el reactor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) por el Dr. Gatzke Lettinga, quien logró este avance en sus investigaciones en la Universidad Agrícola de Wageningen en Holanda. El reactor es eficiente y fácilmente operable para diferentes concentraciones de contaminantes. (Lettinga, 1986)

El reactor se basa en 4 componentes principales:

- Un manto de lodos
- Un lecho de lodos
- Un separador gas-sólido-líquido (GSL)
- Un compartimiento de sedimentación

Las características que más resaltan en el reactor UASB son: eficiencia alta sobre la eliminación de compuestos orgánicos, mayor retención de biomasa, costos y mantenimiento bajos. Es una tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria alimentaria. (Lettinga, 1986)

1.2.3. MARCO CONCEPTUAL

Agua residual

Son 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.

En las fábricas de productos cárnicos, el consumo de agua depende ante todo del producto. La contaminación de aguas residuales en industrias dedicadas a la fabricación de embutido cocido y escaldado y conservas es mayor que en las empresas que producen por ejemplo únicamente embutido crudo. (Chan, 2009)

Reactor UASB

La tecnología UASB es la opción más adecuada para el tratamiento de una gran variedad de aguas residuales industriales, debido a sus bajos costos de construcción, operación y mantenimiento, y por sus altos porcentajes de remoción (Bermúdez, 2003).

Estos reactores UASB basan su funcionamiento en la formación de un manto flotante de bacterias dentro del reactor. Este manto constituye un auténtico filtro en el que se produce la metanogénesis y se separa de forma eficiente el gas de la parte sólida en dependencia de la carga orgánica diaria. Se caracterizan porque operan con lodos granulares o floculantes de alta velocidad de sedimentación.

Desde 1988 en América Latina estos reactores reemplazaron a las plantas de tratamiento aerobio, a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores para el tratamiento de lodos y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO en función de la concentración inicial del agua residual (Lettinga & Hulshoff, 1989).

Manto de Lodos

Es un cultivo suspendido, donde los residuos se estabilizan biológicamente. En este se da el crecimiento y mezcla de organismos que dan la formación del manto (Qasim, 2000) El principio de este concepto consiste en que las aguas residuales se pongan en contacto con una población microbiana mixta, en forma de flóculos en un sistema

aireado. La eficiencia en un proceso conjunto con reactores es muy alta y facilita la remoción de cargas orgánicas que en otros procesos no se pueden dar (Qasim, 2000).

Los lodos son altamente mineralizados por lo cual no necesitan un tratamiento posterior, se pueden generar estabilizados secundarios los cuales pueden servir para utilizarlos en el suelo como fertilizantes, nutrientes, y para obtención de biogás (Lettinga, 1986).

Parámetros de Contaminación

Existen muchos parámetros los cuales permiten identificar la calidad del agua y a partir de estos, actuar con un tratamiento eficaz para un contaminante específico (Romero, 1999).

Estos métodos pueden ser físicos: como las características organolépticas (color, olor, sabor). Otros parámetros físicos pueden ser la temperatura y la turbidez. Métodos químicos: oxígeno disuelto, pH, salinidad, dureza, DQO (Demanda Química de Oxígeno) y medidores de materia inorgánica: cationes, aniones metales (Romero, 1999). Parámetros microbiológicos: Bacterias, virus, hongos, algas (Chaplin, 2006)

Metabolismo microbiano

Las bacterias se encuentran en casi todos los ambientes e intervienen en varios procesos biológicos, el crecimiento microbiano requiere la formación de estructuras complejas como proteínas, lípidos, ácidos nucleicos y polisacáridos. El procesamiento de los nutrientes (metabolismo) se conoce como la suma de reacciones bioquímicas que se requieren para la generación de energía y el uso de esta energía para sintetizar material celular a partir de moléculas del medio ambiente (Rittmann, 2006).

Límite permisible

Valor o rango que se asigna a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales. (Presidencia de la República del Ecuador, 2008)

1.2.4. HIPÓTESIS

La depuración de las aguas residuales provenientes de la industria de alimentos es posible, mediante el metabolismo de bacterias anaeróbicas dentro de un reactor UASB.

1.2.5. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES

Variables de diseño:

- El caudal de la bomba peristáltica, Volumen del reactor, Tiempo de retención hidráulica

Variables en el análisis del tratamiento con el reactor UASB:

- La temperatura, pH, DQO, DBO, ST, Ssed, Sulf, N-NH₃, conductividad, color, turbidez

Variables microbiológicas:

- Medios específicos para grupos bacterianos.

CAPITULO 2 METODOLOGÍA

2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA REACTOR UASB SE-K01

El reactor que se construyó en el presente estudio es un ejemplar de escala laboratorio de forma cilíndrica para el tratamiento de aguas residuales de la industria alimentaria de embutidos cárnicos; al mismo que se le denominó como UASB SE-K01.

El UASB SE-K01 se describe como un cilindro de 1,5 metros de altura y un diámetro de 14 cm, lo que permite manejar un contenido volumétrico de 23 litros. El material empleado para la construcción del reactor fue el polimetilmetacrilato (PMMA) comercialmente conocido como vidrio acrílico o plexiglás.

2.1.1 MATERIAL DEL REACTOR

La construcción del UASB SE-K01 partió con la adquisición de una lámina lisa y transparente de polimetilmetacrilato con las dimensiones de: 1,2 metros de ancho, 2 metros de largo y 4mm de espesor.

El material seleccionado fue polimetilmetacrilato (PMMA) de acuerdo a las necesidades, recomendaciones, costos y características como: la resistencia temperatura menor a los a 40°C y pH ácido. La estabilidad del acrílico termoformado es óptima en temperaturas menores a 40°C. La ausencia de compuestos como: acetona, thinner, hexano, tolueno, benceno, entre otros aseguran la durabilidad del reactor (ACRILUX S.A., 2013).

Adicionalmente para el reactor UASB SE-K01 fue necesario adquirir dos contenedores de 25 litros de capacidad volumétrica. Uno de ellos se destinó para el abastecimiento al reactor y el otro para recoger el producto del mismo. La conexión entre el contenedor

de entrada - la bomba – reactor UASB SE-K01 – contenedor de salida se realizó mediante mangueras de silicón.

2.1.2 ALIMENTACIÓN AL REACTOR

2.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA

Tabla N°. 7: Características De La Bomba

Características de la Bomba	
Voltios:	12V DC
Corriente:	1 ^a
Potencia:	4W
Humedad Relativa:	<80%
Condiciones de Trabajo:	0-40 °C
Caudal:	20 mL/min - 120 mL/min
Variación de caudal:	0.2mL/min - 130mL/min (la tasa de flujo puede cambiar de acuerdo a la adaptación de diferente tamaño de la tubería de la bomba)
Tamaño del tubo:	3 mm de diámetro interior 1 mm de espesor de la pared
Ruido:	<45 db
Dimensión de la Bomba:	100 mm x 68 mm x75 mm

Fuente: Descripción del fabricante *YW Fluid Mini Pump*, 2014

La tabla N°.7 presenta las características de la bomba utilizada para alimentar al reactor UASB SE-K01.

2.1.2.2 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

El tiempo de retención hidráulica para el diseño de un reactor UASB es proporcional al volumen de reactor e inversamente proporcional al caudal (Guardia, 2012). Lo que se traduce en términos matemáticos con la ecuación:

$$TRH (d) = \frac{V_r(m^3)}{Q(\frac{m^3}{d})}$$

Donde

TRH: Tiempo de Retención Hidráulica en días

Q: Caudal de Alimentación

V_r: Volumen del Reactor UASB SE-K01

(Guardia, 2012)

La eficiencia de los tratamientos depende de la temperatura de operación y TRH, a mayor tiempo hay mayor porcentaje de remoción de agua. El reactor UASB SE-K01 fue diseñado para operar un volumen de 23 litros a temperatura controlada de 30°C con una caudal de 20 mL/min. Por lo que el TRH se estableció en 0,8 día.

2.1.2.3 CARGA ORGÁNICA VOLUMÉTRICA

Según la tabla N°2, el rango óptimo de Carga Orgánica Volumétrica para una reactor UASB en las condiciones ambientales de la ciudad de Quito se estima de 2 a 5 kg DQO/m³ día. La carga orgánica se calcula con la siguiente ecuación:

$$COV \left(\frac{kgCOD}{m^3d} \right) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{d} \right) \times DQO \left(\frac{kgCOD}{m^3} \right)}{V_r(m^3)}$$

Donde

COV: Carga Orgánica Volumétrica

DQO: Concentración de la Demanda Química de Oxígeno

Q: Caudal de Alimentación

V_r: Volumen del Reactor UASB SE-K01

(Guardia, 2012)

El UASB SE-K01 fue diseñado para ser alimentado con una bomba que establece el caudal de 20 mL/min ó 0,0288m³/d. La concentración de la DQO máxima analizada fue

de 4621,8, de forma que la capacidad volumétrica es de 0,02304 m³; por lo tanto se determinó matemáticamente que la carga orgánica volumétrica límite para el reactor a dichas condiciones es de $5,7773 \frac{kgCOD}{m^3 d}$.

2.1.2.4 VELOCIDAD ASCENDENTE DEL FLUJO

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$V_{Asc} = \frac{L(m)}{TRH(d)}$$

Donde

V_{Asc} : Velocidad Ascendente de Flujo

L: Altura del Reactor

TRH: Tiempo de Retención Hidráulica

(Guardia, 2012)

Por lo tanto los parámetros críticos e iniciales para el dimensionamiento del reactor UASB SE-K01 se determinaron por la capacidad de la bomba peristáltica, COV, HTR y la velocidad ascendente de flujo. Los valores máximos para este tipo de tratamiento y reactor son de COV $20 \frac{kgCOD}{m^3 d}$, 1,5 m/h de flujo ascendente y 1 m/h de carga hidráulica (Caicedo, 2006; Mahmoud, Zeeman, Gijzen, & Leising, 2003).

Para el inicio del diseño de los reactores UASB se debe conocer la concentración del DQO de las agua a tratar debido a que, cuando el $DQO < 1000 \text{ mg/L}$ se diseña de acuerdo al valor de TRH. En el caso del UASB SE-K01 que es un reactor para tratar aguas residuales con una concentración de $DQO > 1000 \text{ mg/L}$ el diseño se ajusta al valor del COV (López, 2007).

2.1.3 DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB SE-K01

Tabla N°. 8: Cálculos del Reactor UASB SE-K01

Parámetros Iniciales del UASB SE-K01			
Tiempo de Retención Hidráulica	TRH=0,80 d	TRH=19,2h	
Caudal	Q=20 mL/min	Q=0,0012 m ³ /h	Q= 0,0288m ³ /d
Diámetro del Reactor	D= 14 cm		
Radio del Reactor	R= 7cm		
DQO	DQO(mg/L) = 4621,80		DQO(kg/m ³) = 4,62

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Volumen del reactor (m³)

$$V_r = TRH * Q$$

$$V_r = 0,8d * 20 \text{ ml}/_{min} * 1440 \text{ min}/_d$$

$$V_r = 23040 \text{ ml}$$

$$V_r = 0,023 \text{ m}^3$$

Carga Hidráulica Volumétrica $\left(\frac{kg}{m^3d}\right)$

$$COV \left(\frac{kg}{m^3d}\right) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{d}\right) \times DQO \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{V_r(m^3)}$$

$$COV = \frac{0,0288 \times 4,62}{0,023}$$

$$COV = 5,78 \left(\frac{kg}{m^3d}\right)$$

Área del reactor (m^2)

$$A_r = \pi * \frac{D^2}{4}$$

Donde

D: Diámetro del reactor

$$A_r = 3,1416 * \frac{14cm^2}{4}$$

$$A_r = 153,94 \text{ cm}^2$$

$$A_r = 0,015 \text{ m}^2$$

Altura efectiva del reactor (m)

$$L = \frac{4 * V_r}{\pi * D^2}$$

$$L = \frac{4 * 23040}{3,1416 * 14^2}$$

$$L = 149,67 \text{ cm}$$

$$L = 1,4967 \text{ m}$$

Flujo másico (kgDQO/d)

$$F = V_r * \text{Carga organica volumetrica}$$

$$F = 0,023 \text{ m}^3_r * 5,78 \left(\frac{kgCOD}{m^3d} \right)$$

$$F = 0,13 \left(\frac{kgCOD}{d} \right)$$

Carga hidráulica (m/h)

$$C_H = \frac{Q}{A_r}$$

$$C_H = \frac{0,0012 \text{ m}^3/\text{h}}{0,015 \text{ m}^2}$$

$$C_H = 0,08 \text{ m/h}$$

Velocidad de flujo en la campana (m/h)

$$V_f = 4(C_H)$$

$$V_f = 4(0,08 \text{ m/h})$$

$$V_f = 0,31 \text{ m/h}$$

Velocidad Ascendente del Flujo (m/h)

$$V_{Asc} = \frac{L(m)}{HRT(d)}$$

$$V_{Asc} = \frac{1,4967m}{19,2 \text{ h}}$$

$$V_{Asc} = 0.08m/h$$

Área de abertura de la campana

$$A_{Abertura} = \frac{Q}{V_f}$$

$$A_{Abertura} = \frac{0,0012 \text{ m}^3/\text{h}}{0,31 \text{ m/h}}$$

$$A_{Abertura} = 38,48 \text{ cm}^2$$

Radio de la campana

$$A_{Camp} = A_r - A_{Abertura}$$

$$\pi R_c^2 = A_r - A_{Abertura}$$

$$R_c^2 = \frac{153,94 \text{ cm}^2 - 38,48 \text{ cm}^2}{\pi}$$

$$R_c = 6,06 \text{ cm}$$

Ancho de la abertura

$$W_{Abertura} = R_r - R_c$$

$$W_{Abertura} = 71,41 \text{ cm} - 6,06 \text{ cm}$$

$$W_{Abertura} = 0,94 \text{ cm}$$

Longitud de la campana sin la longitud del ducto de gas, para este parámetro fue necesario establecer W_T como el diámetro inferior de la campana, que se estableció como $W_T = 3 \text{ cm}$. Este valor se determinó según las condiciones y limitaciones del vidrio acrílico en el termoformado.

$$W_G = R_r - W_{Abertura} - 0,5(W_T)$$

$$W_G = 7 \text{ cm} - 0,94 \text{ cm} - 0,5(3) \text{ cm}$$

$$W_G = 4,56 \text{ cm}$$

Altura de la campana

$$H_G = W_g * \tan 60^\circ$$

$$H_G = 4,56 \text{ cm} * \tan 60^\circ$$

$$H_G = 7,9 \text{ cm}$$

Deflectores

$$Def = 1.5 * W_{Abertura}$$

$$Def = 1.5 * 0,94$$

$$Def = 1,41 \text{ cm}$$

Ancho de los deflectores

$$W_{Def} = Def - W_{Abertura}$$

$$W_{Def} = 1,41 \text{ cm} + 0,94 \text{ cm}$$

$$W_{Def} = 2,34 \text{ cm}$$

Longitud de los deflectores

$$L_{Def} = 2 W_{Def} * \tan 45$$

$$L_{Def} = 2 * 2,34 \text{ cm} * \tan 45$$

$$L_{Def} = 4,69$$

(Lettinga *et al.*, 1983; Caicedo, 2006)

2.1.4 ARRANQUE DEL REACTOR UASB SE-K01

El arranque del reactor UASB SE-K01 consistió en un grupo de condiciones para tratar de optimizar el proceso de depuración del agua. Las distintas condiciones permitieron que el funcionamiento del reactor sea rentable y eficaz.

El arranque del reactor UASB SE-K01 y aclimatación del lodo activado se llevó a cabo durante 40 días. La activación del lodo se llevó a cabo con la adición de 250g de zeolita para ganar viscosidad, además se usa la zeolita como medio filtrante y de adherencia de las bacterias (Guardia, 2012). De igual forma se añadió 15g de AlCl_3 para mejorar la

sedimentabilidad del lodo y evitar que se pierda con el efluente (Yu, Tay, & Fang, 2001; Yu, Fang, & Tay, 2001b). El metabolismo bacteriano del reactor fue estimulado mediante la inducción de nutrientes (4g de Nitrógeno y 4g Fósforo); la relación p recomendada para aguas residuales acidificadas es:

$$DQO:N:P = 1000:5:1$$

Por cada 1000 g de DQO se agrega 5g de nitrógeno y 1 g de fósforo.

(Lettinga *et al.*, 1983)

El tiempo de Retención Hidráulica fue de 0,8 días, el caudal de operación 20 mL/min.

La Demanda Química de Oxígeno promedio del agua a ser tratada es de 2621,5 mg

DQO/L, valor que determino la Carga Orgánica Volumétrica en el reactor UASB SE-

K01 de $3,28 \left(\frac{kgCOD}{m^3d} \right)$

Tabla N°. 9: Composición del Lodo Activado

Composición Del Lodo Activado	
10% del volumen total del reactor de Lodos Activados	
Zeolitas:	250 g
Cloruro de Aluminio:	15 g
Fosfato de Calcio:	4 g
Fosfato de Amonio:	4 g

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Imagen en Anexo 6

2.1.5 MUESTREO Y PUNTOS DE MUESTREO

2.1.5.1 MUESTREO DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS

Los muestreos se realizaron en una fábrica de embutidos cárnicos ubicada en el sector de Cotocollao al norte de Quito. El muestreo estuvo a cargo de los autores del presente estudio Andrés Erazo y Gustavo Salvador. El total de muestras obtenidas fue de 15 y se detallan en la siguiente tabla.

Tabla N°. 10: Muestreos

Muestra	Día	Hora	Código
Muestra 1	10 de Abril del 2014	8:00 am a 12 am	MSE-001
Muestra 2	11 de Abril del 2014	9:00 am a 12 am	MSE-002
Muestra 3	14 de Abril del 2014	10:30 am a 11:45 am	MSE-003
Muestra 4	15 de Abril del 2014	10 am a 12 am	MSE-004
Muestra 5	17 de Abril del 2014	8 am a 12 pm	MSE-005
Muestra 6	18 de Abril del 2014	9 am a 12 am	MSE-006
Muestra 7	21 De Abril del 2014	8 am a 11:30 am	MSE-007
Muestra 8	22 de Abril del 2014	9 am a 11:30am	MSE-008
Muestra 9	23 de Abril del 2014	9 am a 12 am	MSE-009
Muestra 10	24 de Abril del 2014	8 am a 11:30 am	MSE-010
Muestra 11	25 De Abril del 2014	9 am a 11:30 am	MSE-011
Muestra 12	2 de Mayo del 2014	8 am a 12 am	MSE-012
Muestra 13	5 de Mayo del 2014	10 am a 12 am	MSE-013
Muestra 14	14 de Mayo del 2014	9 am a 12 am	MSE-014
Muestra 15	15 de Mayo del 2014	8 am a 12 am	MSE-015

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Imagen en Anexo 6

Se realizaron muestreos de aguas residuales de la producción de la fábrica de embutidos cárnicos, como se indica en la tabla N° 10 en los cuales se realizó la caracterización de sus parámetros ambientales, se evitó hacer muestreos a partir de la 1 de la tarde porque el agua residual generada es del mantenimiento de las máquinas. El muestreo se hizo en contenedores de 25 litros, utilizando un tamiz y posterior a este proceso se etiqueto e identifico cada una de las muestras obtenidas.

En número total de las muestras obtenidas fue de 15 debido a los siguientes criterios: logística, el horario de producción, permiso de ingreso, tiempo de procesamiento de muestras y finalización de actividades productivas de la fábrica en última semana de Mayo del 2014.

Para analizar las muestras de aguas residuales en el laboratorio se utilizó un sistema de pretratamiento que comprendía un filtrado con papel absorbente y tela de algodón en la cual se quedaron muchos residuos complementarios de la producción. Las imágenes del muestreo se encuentran en el Anexo N.5 en imágenes de muestreo.

2.1.5.2 PUNTOS DE MUESTREO EN EL REACTOR UASB SE-K01

El reactor UASB SE-K01 cuenta actualmente con 3 puntos para muestreo, sin contar con la llave que permite la salida del efluente. Cada uno de estos puntos fue colocado de forma que se trate de cubrir las diversas áreas del reactor: área de lodos, área de sobre el lodo, área debajo la zona de la campana GSL. El muestreo de efluente es representativo a la zona de la campana GSL, ya que es la parte final del trayecto del agua residual. Las válvulas de muestreo se instalaron con llaves de aluminio con tubería de media pulgada material PVC.



Imagen N°. 1: Fabricación de Puntos de Muestreo
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

2.2 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL REACTOR UASB SE-K01

La eficiencia del reactor se determinó mediante la caracterización del agua residual de la industria de los embutidos cárnicos. Las mediciones se realizaron de acuerdo a los métodos y protocolos establecidos en normativas vigentes y en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. La efectividad del reactor UASB SE-K01, es el resultado de la diferencia entre las mediciones iniciales y finales de los parámetros ambientales.

2.2.1 PARÁMETROS AMBIENTALES DEL AGUA RESIDUAL

Los parámetros ambientales analizados fueron la Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos, Sólidos Fijos, Sólidos Sedimentables, Sulfatos, Nitrógeno Amoniacal, pH, Conductividad, Turbidez,

Color, Sustancias Solubles en Azul de Metileno (detergentes), Sustancia Solubles en Hexano (aceites y grasas), Cloruros y Fenoles.

Las muestras de agua residual de la industria de embutidos cárnicos fueron caracterizadas y numeradas en un total de 15 muestras iniciales y 15 muestras finales, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos del agua residual tratada en el reactor UASB SE-K01.

2.2.1.1 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

La determinación del DQO para aguas residuales se realizó a través del método de reflujo abierto y el protocolo utilizado para la determinación fue establecido por el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 5220 Open Relux Method*. (Anexo 2.1)

Ecuación para la obtención del valor de DQO:

Normalidad de Sulfato Ferroso Amoniacal (SAF)

$$SAF = \frac{ml \text{ de Dicromato de Potasio} * 0,25}{Volumen \text{ utilizadp en la tinción del SAF}}$$

$$DQO = \frac{(A - B) * N \text{ SAF} * 8000 * 20}{10}$$

Donde,

A: representa el volumen en mL de SAF gastados en la titulación del blanco

B: representa el volumen en mL de SAF gastados en la titulación de la muestra problema

N: es normalidad del SAF

20: el valor que representa a la dilución de la muestra (5:100)

10: el volumen de muestra utilizado



Imagen N° 2: Equipo de DQO para Reflujo Abierto
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

2.2.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

El DBO se analizó mediante el uso de una botella y el oxidímetro para la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Se colocó 200 mg de la muestra en la botella, la muestra fue previamente oxigenada por un tiempo de 20 minutos. A la botella de medición se agrega 6 g de Hidróxido de Potasio en la cápsula de caucho y se configuró la escala máxima de análisis de acuerdo a las características del agua residual. Finalmente se llevó a incubar la muestra en 20°C sin luz y con agitación durante 5 días. Método SM 5210D



Imagen N° 3: Equipo de DBO
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

2.2.3 SÓLIDOS

Los sólidos son parámetros determinantes en cuanto a las características del agua residual, se analizó los Sólidos Totales (ST), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Fijos

(SF) y Sólidos Sedimentable (SSed); se realizó 3 repeticiones para los análisis de los sólidos, exceptuando en los sólidos sedimentables. Los procesos de análisis de las muestras de sólidos se realizaron de acuerdo el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SM 2540B, SM 2540D, SM 2540E y SM 2540F respectivamente).

Los ST se determinaron mediante el uso de vasos de precipitación previamente pesados, se agrega 100 mL de la muestra, se incubó a 105°C durante 24 horas. Posteriormente se volvió a pesar para obtener la diferencia de pesos. Esa diferencia de pesos es el valor de los sólidos totales.



Imagen N°. 4: Medición de Sólidos Totales
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Para determinar los sólidos suspendidos se filtró una muestra de 100 mL con papel filtro, luego a esto se procedió de la misma forma que en los Sólidos Totales.



Imagen N°. 5: Medición de Sólidos Fijos
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Los Sólidos Fijos se determinaron mediante el uso de crisoles de peso conocido, a estos se les agrega 100 mL de muestra, y se llevan a incinerar en una mufla a 550°C durante 30 minutos. Una vez que los crisoles se hayan enfriado hasta temperatura ambiente se vuelven a pesar para establecer la diferencia de los pesos como la cantidad de Sólidos Fijos en 100 mL de agua residual.

Estos tres sólidos están relacionados de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ST = SS + SF$$

Los sólidos sedimentables se midieron utilizando el cono Imhoff, al cual se le añade un litro de la muestra y se toma la medición después de una hora



Imagen N°. 6: Conos Imhoff
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

2.2.4 DETERMINACIÓN DE OTROS PARÁMETROS AMBIENTALES

Tabla N°. 11: Descripción Metodológica de Varios Parámetros

Sulfatos	La medición de los sulfatos se realizó en el equipo HACH con el programa 680. El protocolo se presenta en Anexo 2.2
Nitrógeno Amoniacal	Se utiliza el Test Kit de Amonio, en el cual se agregan 5mL de muestra a un tubo el cual posee un reactivo de nitrógeno, se procede a esperar 15 minutos y se pasa a una lectura por código de barras en el HACH. Ver protocolo en Anexo 2.3.
Turbidez	Se analizaron las muestras de aguas residuales con una dilución 5:100 en el equipo HACH en el programa 3750 y se dio lectura al resultado. El protocolo se presenta en Anexo 2.8

Color	Se determinó en el equipo HACH usando el programa 120. Las muestras de aguas fueron analizadas con una dilución 5:100 El protocolo se presenta en Anexo 2.8
pH	Se midieron las muestras de aguas residuales con un multiparámetros. Metodología Anexo 2.8
Conductividad eléctrica	Se evaluaron las muestras de aguas residuales en el multiparámetros, con unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$. Anexo 2.8
Detergentes	Las muestras se analizaron con la asistencia de un laboratorio externo siguiendo la metodología APHA. El protocolo se presenta en Anexo 2.4
Fenoles	Las muestras se analizaron con la asistencia de un laboratorio externo siguiendo la metodología APHA. El protocolo se presenta en Anexo 2.5
Cloruros	Las muestras se analizaron con la asistencia de un laboratorio externo siguiendo la metodología APHA. El protocolo se presenta en Anexo 2.6
Aceites y Grasas	Las muestras se analizaron con la asistencia de un laboratorio externo siguiendo la metodología APHA. El protocolo se presenta en Anexo 2.7

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

2.3 CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA

La caracterización microbiana se llevó a cabo mediante la siembra de las bacterias en medios específicos. Se realizó un cultivo para verificar la presencia de: mohos y levaduras, bacterias aerobias, bacterias lácticas, los géneros bacterianos *Enterobacterias* y *Pseudomonas*. Adicionalmente se hizo una siembra para verificar la existencia del grupo bacteriano bacilos esporulados.

Tabla N°. 12: Medios Específicos

Recuento	Medio
Aerobio Mesófilos	PCA agar (Recuento en Placa Agar)
Anaerobios Mesófilos	Agar PDA (Papa Dextrosa Agar)
Mohos y Levaduras	MYP Agar (m-Green Yeast and Mold Broth)
Bacilos formadores de endosporas	Agar para anaerobios con Thioglicolato
<i>Pseudomonas</i>	Agar King A y Agar King B

Elaborado: Erazo & Salvador.2014

Aerobios mesófilos: Para la determinación de microorganismos aerobios mesófilos viables se utilizó el método de recuento en placa, para indicar la carga microbiana en un producto. Se basa en incubar una muestra en agar de recuento de placa a 35 °C en un período de 48 horas, con diluciones diferentes y se cuenta las unidades formadoras de colonia por gramo de muestra. En el Anexo 2.9 se indica el protocolo.

Anaerobios mesófilos: Estos microorganismos solo pueden crecer bajos potenciales redox y completamente en ausencia de oxígeno. Se utilizó el agar PDA (papa dextrosa agar), en el cual se analizó la presencia de esporas, que se determinan con tratamientos térmicos de 70 a 80°C durante 15 minutos. El conteo se lo realiza con el principio de que una espora da lugar a una colonia en el medio de cultivo. En el Anexo 2.9 se indica el protocolo.

Mohos y Levaduras: Se utilizó el método MYP que se basa en filtración de membrana (m-Green Yeast and Mold Broth) que es selectivo para el desarrollo de hongos y levaduras, presenta un visualizador de pH de bromocresol que facilita la visualización y recuento de colonias. El protocolo se encuentra en el Anexo 2.10

Bacilos formadores de endosporas: Se utilizó el medio líquido de tioglicolato BD, este compuesto reduce el potencial de oxidación-reducción, se usa para el aislamiento y cultivo de microorganismos aerobios y anaerobios. El protocolo se encuentra en el Anexo 2.11

Pseudomonas: Se utilizaron el Agar King A y Agar King B para la detección de Pseudomonas en base a la producción de fluoresceína, que es un pigmento que favorece el desarrollo bacteriano. El protocolo se encuentra en el Anexo 2.12

2.4 ANALISIS ESTADÍSTICO

En el análisis estadístico se utilizó el método de la T-pareada mediante el programa estadístico SPSS, este método se empleó para comprobar la significancia de los resultados obtenidos en un tratamiento.

Cuando se compara dos muestras y no hay diferencia entre ambas muestras la hipótesis nula se sostiene: El tratamiento no tiene efecto. Por otra parte si el tratamiento tiene efecto la hipótesis nula se rechaza.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

La significancia del resultado del test de la t-pareada se analizó de acuerdo al valor obtenido de p .

Cuando:

$0,01 \leq p < 0,05$ el resultado se considera significativo

$0,001 \leq p < 0,01$ el resultado se considera altamente significativo

$p < 0,0001$ el resultado se considera muy altamente significativo

Sí, $p > 0,05$ el resultado no se considera significativo.

(Vinacua, 2007)

CAPITULO 3. RESULTADOS

3.1 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN REACTOR UASB

3.1.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR UASB SE-K01

El reactor UASB SE-K01 fue construido en vidrio acrílico de forma cilíndrica, las dimensiones del reactor corresponden a los cálculos especificados para el diseño de reactores UASB. El diseño dependió de acuerdo a la necesidad del tratamiento, es decir, de acuerdo a las características del agua a tratar y el tiempo de retención. El diseño del reactor UASB SE-K01 se llevó a cabo en un período de tiempo de 15 días entre la investigación, cálculos, rectificaciones y modelamientos gráficos. Para la construcción del reactor fue imprescindible contar con el apoyo de un experto termoformador de vidrio acrílico, proceso que duró aproximadamente 15 días. Las dimensiones del reactor UASB SE-K01 se presenta en la tabla N°13:

Tabla N°. 13: Dimensiones del Reactor UASB SE-K01

Reactor UASB SE-K01		
Parámetros	Valor	Unidades
Tiempo de Retención Hidráulica	0,80 d	Días
	19,2	Horas
Caudal	20,00	mL/min
	0,0012	m ³ /h
	0,0288	m ³ /d
Demanda Química de Oxígeno	4621,8	mgDQO/L
	4,62	kgDQO/m ³
Carga Orgánica	3,28	kgDQO/m ³ d
Diámetro del Reactor	14	cm
Radio del Reactor	7	cm
Volumen de Reactor	23040,00	mL
	0,02304	m ³
Área del Reactor	153,94	cm ²

	0,015	m ²
Altura efectiva del reactor	149,67	cm
	1,5	m
Flujo másico	0,13	kgDQO/d
Carga Hidráulica	0,08	m/h
Velocidad de flujo en la campana	0,31	m/h
Velocidad ascendente de flujo	0,08	m/h
Campana		
Área de abertura	38,48	cm ²
Ancho de la abertura	0,94	cm
Área de campana	115,45	cm ²
Radio mayor de la campana	6,06	cm
Ancho de campana sin radio menor	4,56	cm
Ancho interno de campana	3	cm
Altura de chimenea	7,90	cm
Deflectores		
Traslapo	1,41	cm
Ancho de deflectores	2,34	cm
Longitud de deflector	7,5	cm

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

3.1.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL REACTOR UASB SE-K01.

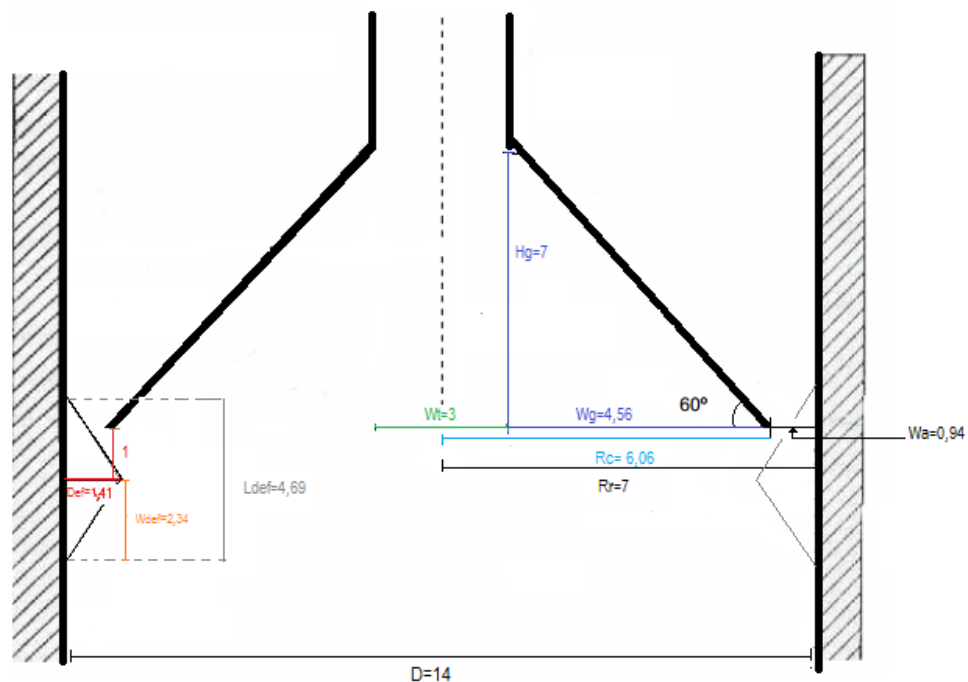


Gráfico N°. 7: Diseño De La Campana GSL del reactor UASB SEK-01
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

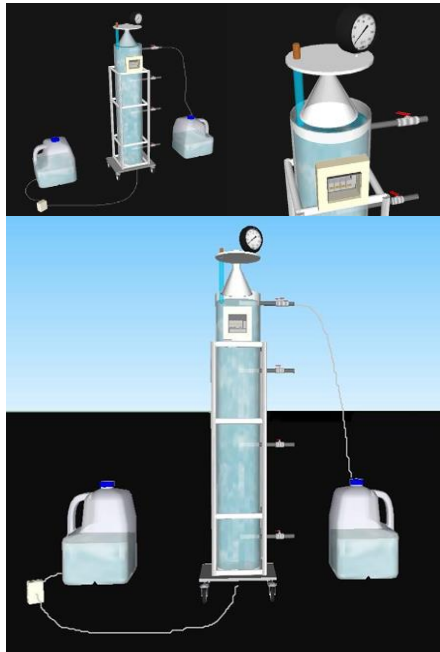


Gráfico N°. 8: Modelo en 3D del Reactor UASB SE-K01
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014



Gráfico N°. 9: Reactor UASB SE-K01
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014



Gráfico N°. 10: Partes del Reactor UASB SE-K01
 Elaborado: Erazo & Salvador, 2014



Gráfico N°. 11: Campana GSL del reactor UASB SE-K01
 Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

3.1.3 MODO DE OPERACIÓN DEL REACTOR UASB SE-K01

El modo de operación del reactor UASB SE-K01 se determinó en base al arranque del reactor, debido a que el período de arranque logró estabilizar el sistema bacteriano dentro del cilindro y optimizar la remoción de contaminantes en el tiempo de retención hidráulica establecido en el diseño. Por lo tanto el modo de operación del reactor UASB SE-K01 para el tratamiento de embutidos cárnicos se estableció de forma experimental y bibliográfica.

MODO DE OPERACIÓN DEL REACTOR UASB SE-K01

El reactor UASB SE-K01 es un equipo para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de embutidos cárnicos. Con el fin de obtener una eficiencia igual o mayor al 80% del reactor en la remoción de los contaminantes, es preciso establecer la operación como se indica en la siguiente tabla:

Tabla N°. 14: Parámetros de Funcionamiento del Reactor UASB SE-K01

PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR UASB SE-K01	
Caudal de la bomba	Q=20 mL/min
Tiempo de Retención Hidráulica	TRH=19,2h
DQO máximo	DQO= 4621,80 mg/L
Carga Orgánica Volumétrica	COV=5,78 kgDQO/m ³ d
Temperatura (SV)	T=35°C
Lodo Activado	V _{Lod} = 2,3 L
pH	Ajustar entre 6-7
Descripción	
El primer paso es ensamblar el equipo con las mangueras desde el tanque de abastecimiento a la bomba y del mismo modo desde la bomba al reactor.	
Cargar el reactor con 2,3 litros de lodo tratado y activados.	

Cerrar el biorreactor y proceder a llenarlo completamente activando la bomba.

Una vez lleno, activar el calentador y el control PID de la temperatura.

Para el arranque se recomienda realizar un reflujo durante 45 días.

Posterior al arranque agregar el agua a tratar de forma continúa y después de 19,2 horas empezar a recoger las primeras muestras del afluente.

Elaborado: Erazo & Salvador.2014

3.2 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL REACTOR UASB SE-K01

3.2.1 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS

Los resultados de la caracterización de agua que ingresa al reactor UASB SE-K01 se presentan en la Tabla N°15 y Tabla N°16

Tabla N°. 15: Caracterización Inicial del Agua Residual de la Industria de Embutidos Cárnicos

Parámetros	Unid.	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv. Std.	Límites (a)	Método
DQO	mg/L	2621,5	4621,8	1135	1160,97	240	SM 5520B
DBO ₅	mg/L	456,7	541	348	54,5326	120	SM 5210D
ST	mg/mL	0,0019	0,00497	0,00044	0,00129	1000	SM 2540B
SS	mg/mL	0,0004	0,00326	3,5E-05	0,00079	95	SM 2540D
SF	mg/mL	0,0015	0,00493	0,00017	0,00127	N/A	SM 2540E
Ssed	mg/L	3,33	31	0,1	7,71144	10	SM 2540F
Sulf	mg/L	5,067	18	0	5,06341	400	HACH 680
N-NH ₃	mg/L	0,250	0,482	0,131	0,1106	1	HACH TNT 830
pH		6,182	6,73	5,59	0,33332	5-9	SM 4500
Conductividad	μS/cm	2304,93	6500	507	1622,88	N/A	SM 2510B
Turbidez	FAU	412	1340	120	302,447	100	HACH 3750
Color	Pt-Co	2674,67	9080	940	15,1224	100	HACH 8025

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

En la tabla N°15 se presentan todos los valores obtenidos en la medición de los parámetros ambientales de las 15 muestras iniciales presentando el promedio, valor máximo, valor mínimo, la desviación estándar, el límite permisible para la descarga en alcantarillado (a) y el método de análisis. En el Anexo 3.1, se encuentra la tabla desglosada con cada uno de los valores obtenidos de las 15 muestras en los 12 parámetros analizados.

De todos los parámetros caracterizados el valor más determinante de contaminación es el DQO, en el cual el resultado promedio obtenido fue de 2621,5 mg/L. Este valor se asemeja a los resultados obtenidos por otros autores en la caracterización de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos. *Gascón* (2006), en su estudio caracterizo el DQO del agua residual de la industria Plumrose obteniendo un resultado promedio de 7350 mg/L. Por otra parte, en un estudio similar *Muñoz* (2005) data un DQO del 3379,3 mg/L .

Otros parámetros relevantes en la caracterización del agua residual son DBO y sólidos presentes. El DBO obtenido en la caracterización inicial fue de 456,7 mg/L que al compararlo con el DBO de 1770 mg/L descrito por *Muñoz* (2005), se considera un resultado bajo. Los Sólidos Totales se determinaron en 0,0019 mg/mL, este valor difiere a otros estudios debido a que existió un pretratamiento de filtrado en las muestras. En la industria de alimentos es común que el valor de los Sólidos Totales estén entre 1 y 100 g/L (IDEAM, 2000; Rovira, 2005).

El Nitrógeno Amoniacal medido fue de 0,250 mg/L, es un resultado muy bajo comparado con *Gascón* (2006) donde se registró un valor de 7 mg/L en el agua residual de la producción de salchichas. Los sulfatos promedio en las industrias de alimentos esta en el rango de 0,35 y 15,81 (mg/L) según *Rovira* (2005); el valor obtenido del

presente estudio fue de 5,067 mg/L. La turbidez y color son parámetros físicos que no siempre son indicadores de contaminación (Coral, 2013). Según ____ los valores típicos del agua residual de la industria de alimentos están entre 1000 - 5000 FAU para turbidez y valores mayores a 500 Pt-Co (Leonard, 1998; Elias, 2004). Valores que concuerda con los datos obtenidos en el presente estudio: turbidez 412 FAU y color de 2674,67 Pt-Co.

Tabla N°. 16: Parámetros Ambientales de Una Sola Medición. (Iniciales)

Parámetros	Unid.	Valor	Límites (a)	Método
Sustancias solubles en azul de Metileno	mg/L	0,086	0,5	SM 5540C
Sustancias solubles en hexano	mg/L	55	100	SM 5520B
Fenoles	mg/L	0,05	0,2	SM 5530B
Cloruros	mg/L	19,4	250	SM 4500 Cl ⁻ B

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

En la tabla N°16 se presentan los valores obtenidos en la medición de los cuatros parámetros descritos. Estos parámetros se determinaron con una sola repetición debido a la escasez de los medios, recursos y difícil acceso. El parámetro más notable de esta tabla es las Sustancias solubles en Hexano debido a que el procesamiento de carnes y embutidos es una de las principales fuentes de aportación de aceites y grasas (Toapanta, 2009). Las industrias de alimentos exceptuando las plantas procesadoras de aceites presentan un rango de aceites y grasas entre 25 y 150 mg/L (Cubillos A. , 2007; Muñoz, 2005).

El análisis de las Sustancias solubles de azul de Metileno se realizó para saber la concentración de detergentes que están presentes en el agua residual de la industria de embutidos cárnicos, obteniendo el valor de 0,086 mg/L. Comparando este dato con el obtenido por Muñoz (2005) de 8,31 mg/L se determinó que la concentración de los detergentes en el agua residual fue muy baja. De la misma manera resultado de los cloruros fue mínimo en la caracterización inicial comparado con la caracterización del

cloruro en aguas residuales de la industria de alimentos promedio (72 mg/L) (Cubillos A. , 2007).

3.2.2 CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS

Los resultados de la caracterización de agua residual de la industria de embutidos cárnicos que se obtuvo en el tratamiento anaeróbico del reactor UASB SE-K01 se despliegan en la Tabla N°17.

Tabla N°. 17: Caracterización Final del Agua Residual de la Industria de Embutidos Cárnicos

Parámetros	Unid.	Promedio	Máximo	Mínimo	Desv.Std	Límites(a)	Método
DQO	mg/L	210,5	356	100	84,25545	240	SM 5520B
DBO	mg/L	145,5	206	105	34,35501	120	SM 5210D
ST	mg/mL	0,0003744	0,000629	0,000092	0,000139	1000	SM 2540B
SS	mg/mL	0,0000434	0,00009	0,000012	2,17E-05	95	SM 2540D
SF	mg/mL	0,000331	0,000573	0,000029	0,000141	N/A	SM 2540E
Ssed	Mg/L	0,0153333	0,05	0,01	0,014075	10	SM 2540F
Sulf	mg/L	1,5	3	0	0,99043	400	HACH 680
N-NH3	mg/L	0,055	0,147	0,012	0,039987	1	HACH TNT 830
pH		6,3	6,91	5,74	0,294089	5-9	SM 4500
Conductividad	μS/cm	1320,5	2279	1046	327,7455	N/A	SM 2510B
Turbidez	FAU	131	320	40	88,11248	100	HACH 3750
Color	Pt-Co	723	1560	500	454,3127	100	HACH 8025

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

La tabla N°17 contiene todos los valores resultantes de la medición de los parámetros ambientales de las 15 muestras resultantes del reactor UASB SE-K01 presentando el promedio, valor máximo, valor mínimo y la desviación estándar. La tabla desglosada de todos los resultados obtenidos en los análisis finales del agua tratada se pueden ver en el Anexo 3.2.

El análisis del DQO es el parámetro más incluyente para determinar la eficacia de un tratamiento de aguas residuales. El promedio de DQO en la caracterización final fue de

210,5 mg/L que al compararlo con la medición inicial se obtuvo un porcentaje del 91%. En el estudio de *Lettinga, Rebac, & Zeeman* (2001), se presenta una tabla con los valores de eficiencia para los diferentes tratamientos anaerobios (ver Anexo 1.3). En la tabla se propone una eficiencia entre el 49% y 80% para tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria de carnicos en un reactor UASB. Las condiciones del reactor UASB mencionado son similares a las propuestas para el reactor UASB SE-K01 (COV:1-10, HRT:16). Al evaluar la eficiencia del reactor UASB SE-K01 con respecto a otros autores, se determinó una alta tasa de remoción del DQO y una óptima viabilidad del tratamiento anaerobio (Grant & Lin, 1995).

El DBO promedio en el caso del reactor UASB SE-K01 es de 145,5 mg/L comparando con los límites permisibles de la normativa metropolitana es de 146 mg/L en descargas al alcantarillado por lo cual se demuestra una efectividad del tratamiento anaerobio. Según el estudio de reactores UASB para tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario los valores finales se reducen de 30000 mg/L a 2000 mg/L con una efectividad del 50% del reactor mucho más baja que el UASB SE-K01 que es de 68,15% (Caicedo, 2006).

Los sólidos totales en promedio del reactor UASB SE-K01 son 0,0003744 mg/L y la normativa del TULAS indica 1000 mg/L, obteniendo una remoción de 80,15% por lo cual el reactor tiene una buena sedimentabilidad.

Los sólidos sedimentables en promedio del reactor UASB SE-K01 son 0,0000434 mg/L y la normativa metropolitana indica como límite permisible 10 mg/L, obteniendo una remoción de 89,82% por lo cual el reactor mantiene una buena estabilidad de lodos.

Los sulfatos en promedio del reactor UASB SE-K01 son 1,5 mg/L y la normativa metropolitana indica como límite permisible 400 mg/L, obteniendo una remoción de

69,74%. Comparando con un estudio de competencia de la biomasa sulforreductora a partir de lodo metanogénico en reactores UASB donde se obtuvo 310 mg/L, se indica una mayor actividad metanogénica (Gallegos & Celis, 2010)

El N-NH₃ en promedio del reactor UASB SE-K01 son 0,055 mg/L y la normativa TULAS indica como límite permisible 1 mg/L, obteniendo una remoción de 77,86%. Comparando con un estudio de oxidación electroquímica de la leche por reactores UASB donde se obtuvieron 1480 mg/L, la remoción es más eficiente (Wang & W, 2001)

La turbidez y el color en promedio del reactor UASB SE-K01 son 131 FAU y 860 Pt-Co respectivamente y la normativa TULAS indica como límite permisible 300 FAU y 1000 Pt-Co, obteniendo una remoción de 68,28 % y 72,98%.

Tabla N°. 18: Parámetros Ambientales Iniciales de Una Sola Medición. (Finales)

Parámetros	Unid.	Valor	Límites (a)	Método
Sustancias solubles en azul de metileno	mg/L	0,020	0,5	SM 5540C
Sustancias solubles en hexano	mg/L	<0,8	100	SM 5520B
Fenoles	mg/L	0,013	0,2	SM 5530B
Cloruros	mg/L	1,64	250	SM 4500 Cl ⁻ B

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

En la tabla N.18 se analizaron parámetros ambientales los cuales se realizaron una solo medición inicial y final, después del proceso de digestión anaerobia se obtuvieron los siguientes resultados:

Las sustancias solubles en azul de metileno para el reactor UASB SE-K01 son 0,020 mg/L y la normativa municipal tiene un límite permisible de 0,5 mg/L, comparado con un estudio de construcción y operación de la planta de recuperación de agua en Quitumbe es de 7,6 mg/L por lo cual no hay riesgo de inhibición en el proceso de digestión anaerobia (EPMAPS, 2012)

Las sustancias solubles en hexano para el reactor UASB SE-K01 son 0,8 mg/L y la normativa metropolitana tiene un límite permisible de 100 mg/L, comparado con un estudio de gestión y diseño de una planta de tratamiento de residuos industriales líquidos para una industria de alimentos donde se obtuvieron 24,1 mg/L el proceso anaerobio presentaba problemas por la baja actividad anaerobia y crecimiento microbiano (Guerrero, 2002).

Los fenoles para el reactor UASB SE-K01 son 0,013 mg/L y la normativa metropolitana tiene un límite permisible de 0,2 mg/L, en un estudio del efecto de la velocidad de carga sobre el tratamiento de aguas residuales que contienen fenol concentrado y p-cresol, obteniendo 300 mg/L, esto puede influir en el proceso de formación de ácidos (Fang, Liu, & Ke, 2004).

Los cloruros para el reactor UASB SE-K01 son 1,64 mg/L y la normativa metropolitana tiene un límite permisible de 250 mg/L, en un estudio de perspectiva del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo, se obtuvieron 30 mg/L los cuales inhibieron el proceso de digestión anaerobia (Torres, 2012)

3.2.3 CARACTERIZACIÓN INICIAL VS FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS CÁRNICOS

La eficiencia del reactor UASB SE-K01 se determinó con la diferencia entre las mediciones iniciales y finales de los parámetros ambientales del agua residual de la industria de embutidos cárnicos.

Tabla N°. 19: Porcentajes de Eficiencia

Parámetros	Unid.	Promedio Inicial	Promedio Final	Porcentajes (%)
DQO	mg/L	2621,5	210,5	91,97
DBO	mg/L	456,7	145,5	68,15
ST	mg/mL	0,001886	0,000374	80,15
SS	mg/mL	0,000426	4,34E-05	89,82
SF	mg/mL	0,001474	0,000331	77,55
Ssed	mL	3,326667	0,015333	99,54
SULF	mg/L	5,066667	1,533333	69,74
N-NH ₃	mg/L	0,249933	0,055333	77,86
pH		6,182	6,308	N/A
Conductividad	µS/cm	2304,9	1320,5	
Turbidez	FAU	412	131	68,28
Color	Pt-Co	2675	723	72,98

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

La tabla N°19 presenta la comparación entre la caracterización inicial y final del agua residual de la industria de embutidos cárnicos. A su vez se expresan los porcentajes de reducción de los parámetros analizados. El valor más relevante en términos de eficiencia en la remoción de contaminantes es el valor del DQO, obteniendo un 90,97%. Los valores más representativos que validan la alta eficiencia del reactor son los de DQO, DBO y Sólidos Totales. Los sulfatos y nitrógeno amoniacal son resultados indicadores del sistema anaerobio interno del reactor. Los valores de pH y conductividad son parámetros despreciables para medir la eficiencia en la remoción de contaminantes en el reactor UASB SE-K01, pero si son indicadores de la estabilidad interna del reactor. El análisis de cada uno de los parámetros se presentan a continuación con los respectivos gráficos.

3.2.3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN DQO

El gráfico N°12 representa los valores obtenidos en el análisis de la Demanda Química Orgánica en el agua residual de la industria de embutidos cárnicos en el punto de entrada y salida del reactor UASB SE-K01.

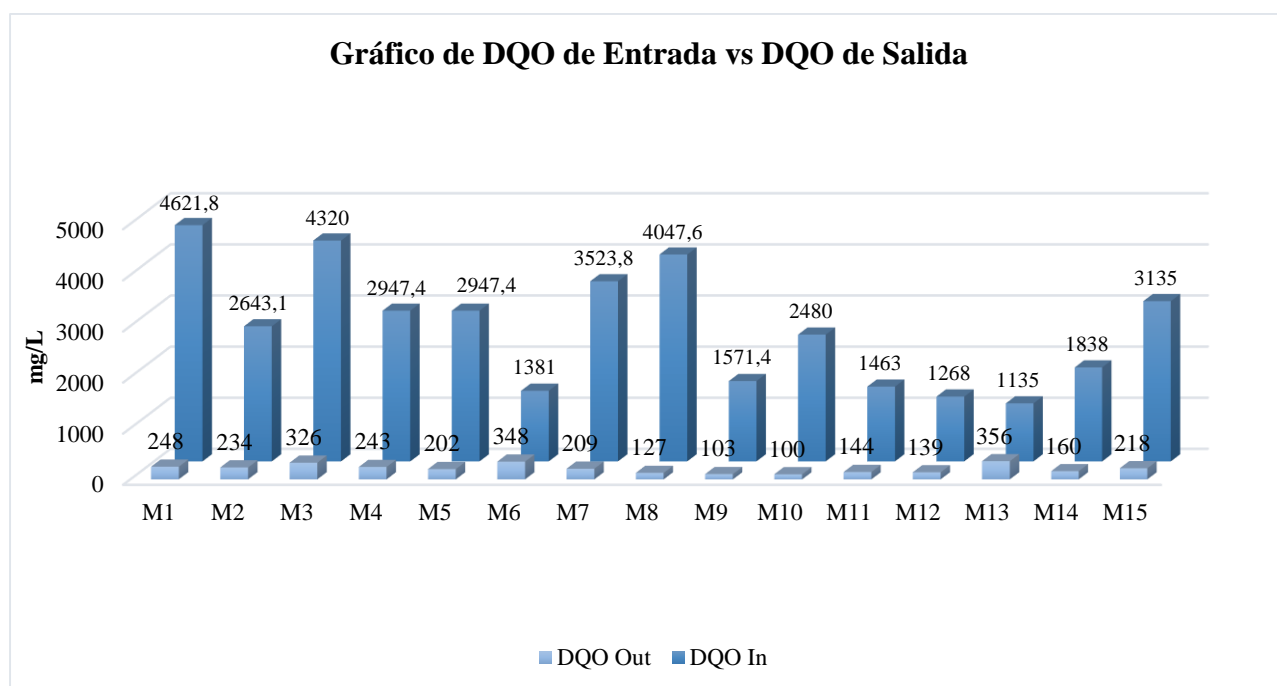


Gráfico N°. 12: DQO de Entrada vs DQO de Salida

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Los valores resultantes del DQO medido antes y después del tratamiento de las 15 muestras, comprueban que la eficiencia del reactor UASB SE-K01 es del 91% en la remoción de material orgánico e inorgánico del agua tratada. El valor promedio del DQO en la caracterización final fue 210,5 mg/L, que su vez, representa a una carga orgánica volumétrica de 0,26 kg DQO/m³*día. La COV promedio inicial fue de 3,28 kg DQO/m³*día, comparada a la COV promedio final indica un 92% en la eficacia y reducción de la Carga Orgánica Volumétrica.

Si se compara la efectividad del 91% en la remoción de DQO del reactor UASB SE-K01 con el promedio de todos los valores de remoción de otros autores (82%) presentados en el Anexo 1.2, se determinó que el porcentaje de remoción fue superior.

Este resultado con cuerda con los estudios realizados por *Yu et al.*, (2001), *Yu et al.*, (2001b) y *Torres et al.*, (2005) donde en cada uno se obtuvo el 90% de remoción.

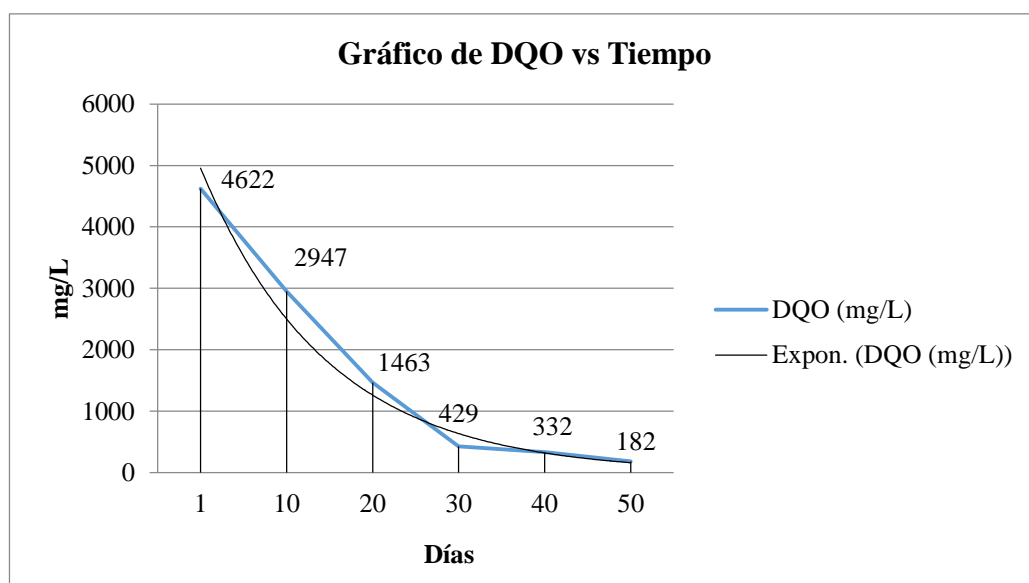


Gráfico N°. 13: Gráfico N°. 10: Análisis Del DQO con Respecto al Tiempo.
Elaborado: Erazo & Salvador.2014

El gráfico N°13 representa la reducción del DQO con respecto a los días de arranque del reactor UASB SE-K01, las mediciones se realizaron al día 1, 10, 20, 30, y 40; días que duro el arranque. Adicionalmente se agregó el dato obtenido después de 10 días que finalizó el arranque. Esta curva representa la caída del DQO con respecto a los días de arranque del reactor. En este periodo de tiempo las bacterias añadidas en el lodo crecen en número, activan su metabolismo y consumen la materia orgánica e inorgánica que ingresa al reactor (Lettinga & Hulshoff, 1989). Si se analiza los valores del día 1 vs el día 50, la remoción del DQO en el reactor es del 96%. Este porcentaje corrobora al análisis realizado por *Ghangrekar et al.*, (2005) donde el porcentaje fue del 95%.

El 95% de remoción del DQO vs el tiempo es también un indicador de la estabilidad del reactor, este valor garantiza que si el reactor UASB SE-K01 entra en periodo para, al reanudar su operación presentara una muy buena recuperación del sistema (Caicedo, 2006).

3.2.3.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN DBO

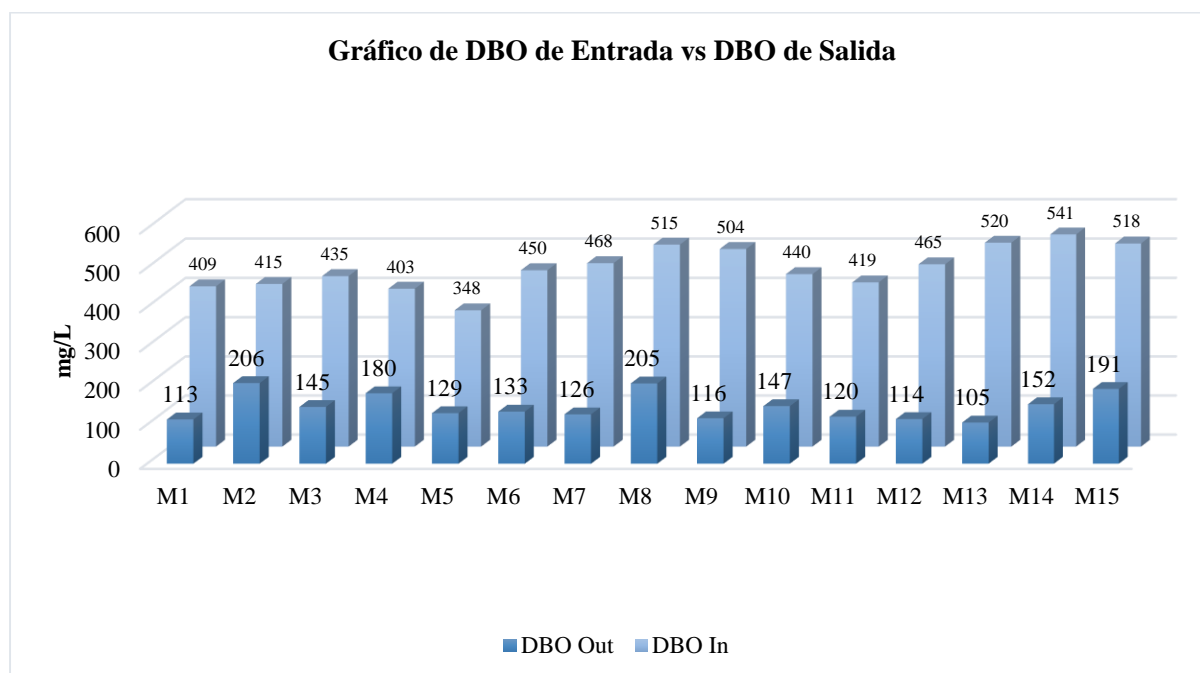


Gráfico N°. 14: DBO de entrada vs DBO de salida
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

En el gráfico N° 14 se presentan los resultados de las mediciones de la Demanda Bioquímica del Oxígeno. La remoción de la materia orgánica por parte de los microorganismos se traduce como el DBO, siendo este un parámetro importante para determinar la reducción de los contaminantes orgánicos de las 15 muestras analizadas. Se obtuvo un porcentaje de reducción aproximado del 68,15%. Este valor a pesar de estar debajo del promedio esperado, es muy relevante para determinar la composición química de los contaminantes en el agua residual de la industria de embutidos cárnicos. El promedio de las mediciones del DBO en las muestras iniciales fue de 456,7 mg O₂/L., valor que está contenido en 2621,5 mg/L de DQO (promedio inicial),

representando aproximadamente apenas un 25% de contaminantes orgánicos biodegradables (Coral, 2013). Es probable que por esta razón la reducción del DBO no haya presentado un alto porcentaje de remoción (145,5 mg/L).

Este resultado se compara con el valor obtenido en el estudio de *Garrido* (2000) donde un reactor UASB presentó una eficiencia en remoción de materia orgánica del 48.61%.

El resultado del DBO se relaciona directamente con los parámetros físicos: color y turbidez (Garrido, 2000).

3.2.3.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS SÓLIDOS

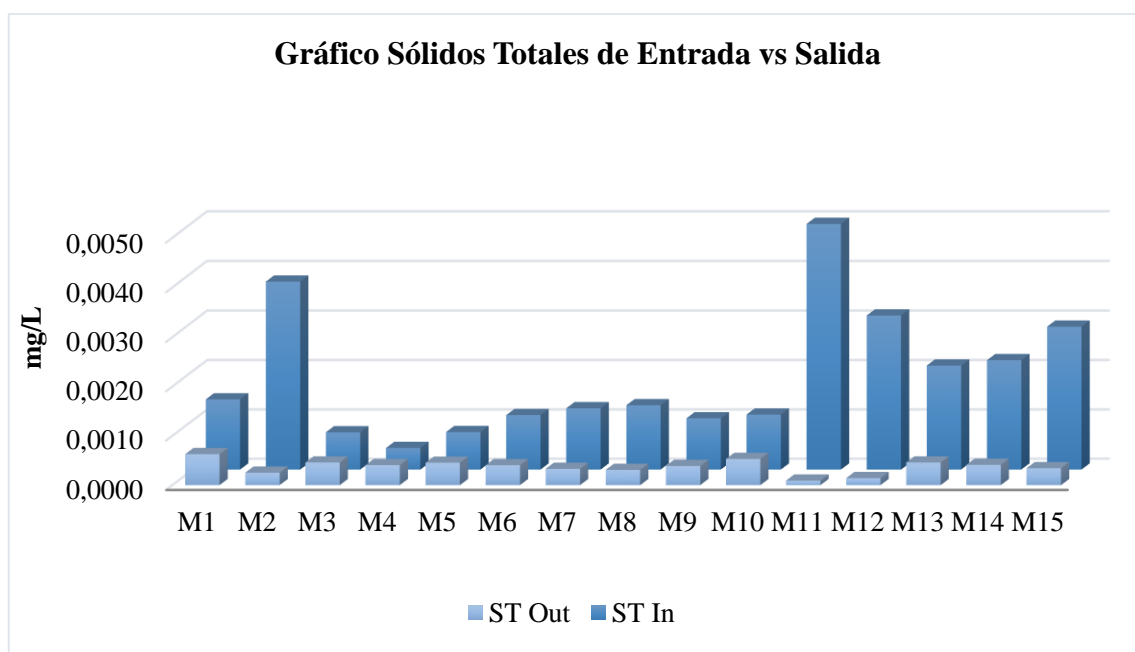


Gráfico N°. 15: Gráfico Sólidos Totales de Entrada vs Salida
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

El gráfico N° 15 detalla los valores resultantes de los Sólidos Totales antes y después del tratamiento de las 15 muestras, obteniendo pares de barras que se evidencian que los sólidos presentes en el agua residual de la industria de embutidos cárnicos se reducen en un 80,15%. Este porcentaje de remoción de sólidos satisface y cumple con el objetivo de efectividad del reactor UASB SE-K01. En un estudio realizado para remover la carga orgánica en suero de queso mediante reactores UASB a diferentes

velocidades de carga orgánica se alcanzaron 97,2% en remoción de sólidos totales este porcentaje alto se debe a que hay un tratamiento de tamizado antes de entrar al reactor. En el caso del reactor UASB SE-K01 el valor de TRH es de 19 horas, es menor comparando al estudio de suero que su TRH es de 24 horas y esto tiene relación directa como determinante para una mejor retención y sedimentación del lodo en el reactor. (Arango & Sanches, 2009)

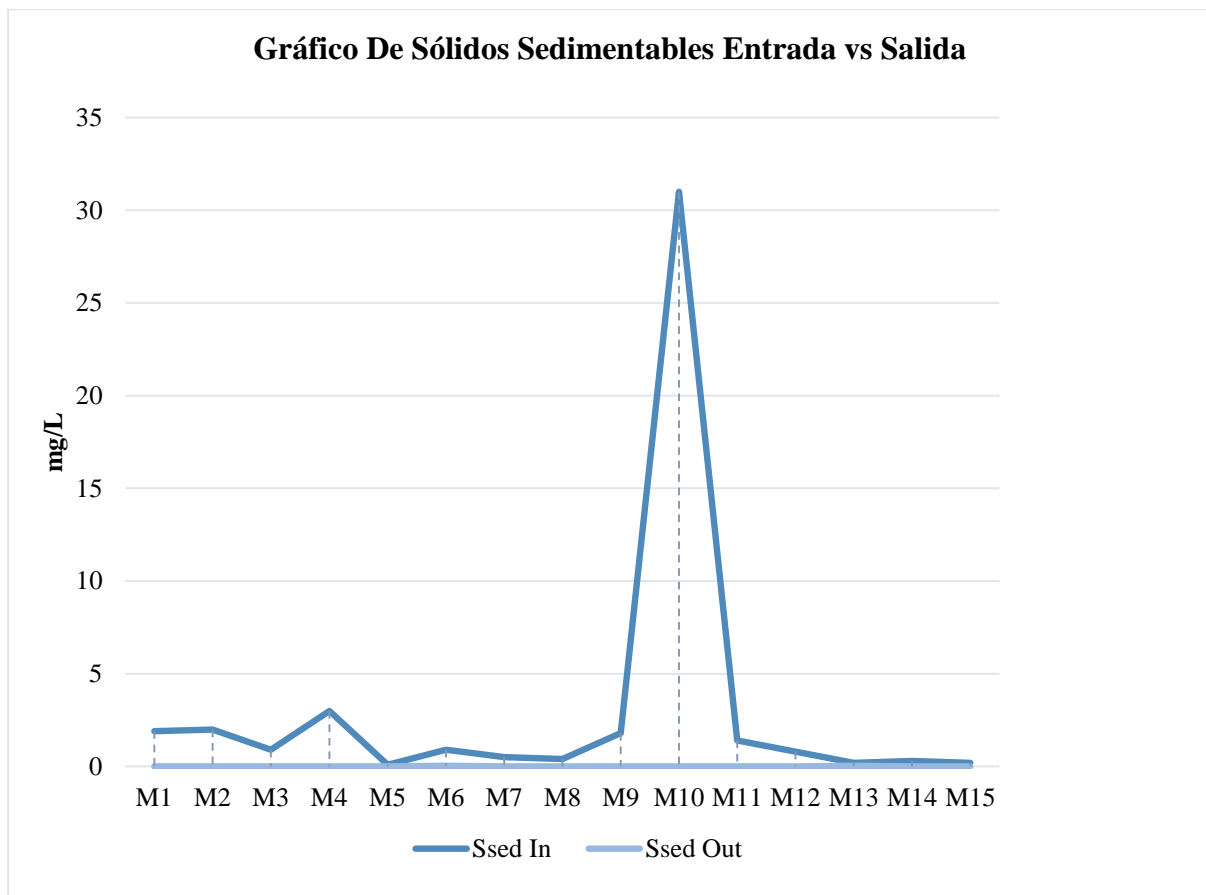


Gráfico N°. 16: Sólidos Sedimentables Entrada vs Salida
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

El gráfico N°16 indica los valores resultantes de las mediciones de los sólidos Sedimentables. De igual forma los Sólidos Sedimentables fueron reducidos en su casi totalidad alcanzando una eficiencia del 99,54%. De acuerdo a estos resultados la sedimentación y floculación del lodo en el reactor es buena y la composición del lodo activado es recomendable. El valor de remoción de los sólidos sedimentables se considera como el valor de biomasa expulsada del reactor, es decir, que en el reactor

UASB SE-K01 trabaja a manera de filtro reteniendo el 99,54% de los sólidos que ingresan en el afluente y dejando pasar un 0,46% de sólidos en el efluente (Iñiguez & Camacho, 2010; Coral, 2013).

3.2.3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS SULFATOS Y NITRÓGENO AMONICAL

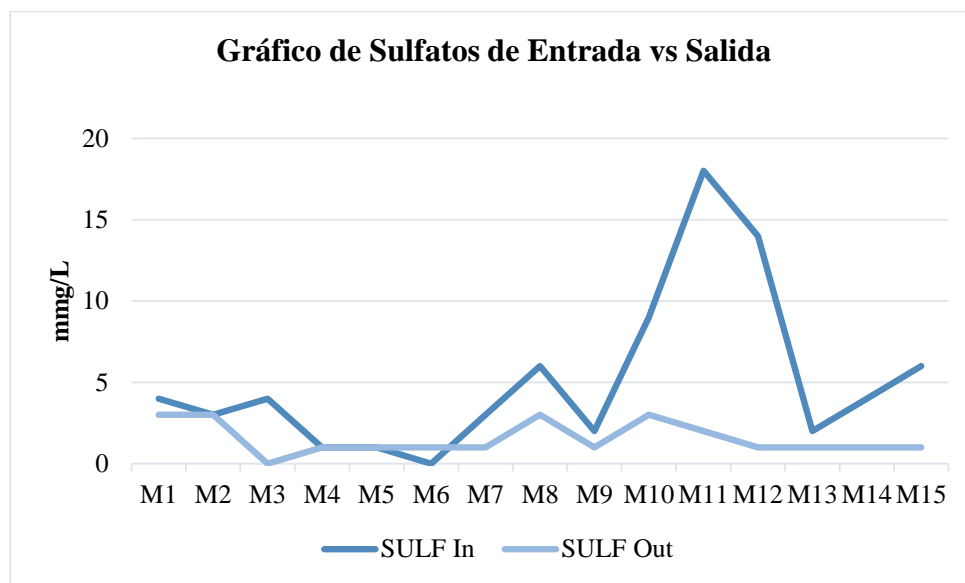


Gráfico N°. 17: Gráfico de Sulfatos de Entrada vs Salida
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

El gráfico N°. 17 corresponde a las 15 mediciones de sulfatos tanto iniciales como finales. En el consumo de los sulfatos se obtuvo un 69,74% de eficiencia. La reducción de los sulfatos presentes en el agua residual indica la alta producción de ácido sulfhídrico (H_2S), el mismo que es precursor de la fermentación anaeróbica (Lomeli, 2007). Por la alta reducción de los sulfatos (SO_4^{2-}) es probable que se haya utilizado como sustrato metabólico de las bacterias acetogénicas para llevar a cabo el proceso fermentativo. Este parámetro fisicoquímico confirma la presencia de bacterias anaeróbicas obligadas (UNAC, 2011). El exceso de sulfato puede llegar a ser un problema en el reactor, ya que el pH disminuye ocasionando la inhibición de la metanogénesis (Varnero, 2011). *Parkin et al.* (1990), postula que, la concentración máxima de H_2S es de 60 mg/L para evitar la desestabilización de las bacterias

anaerobias. En el reactor UASB SE-K01 el pH se mantuvo entre 6,2 y 6,3 garantizando la estabilidad de sistema interno.

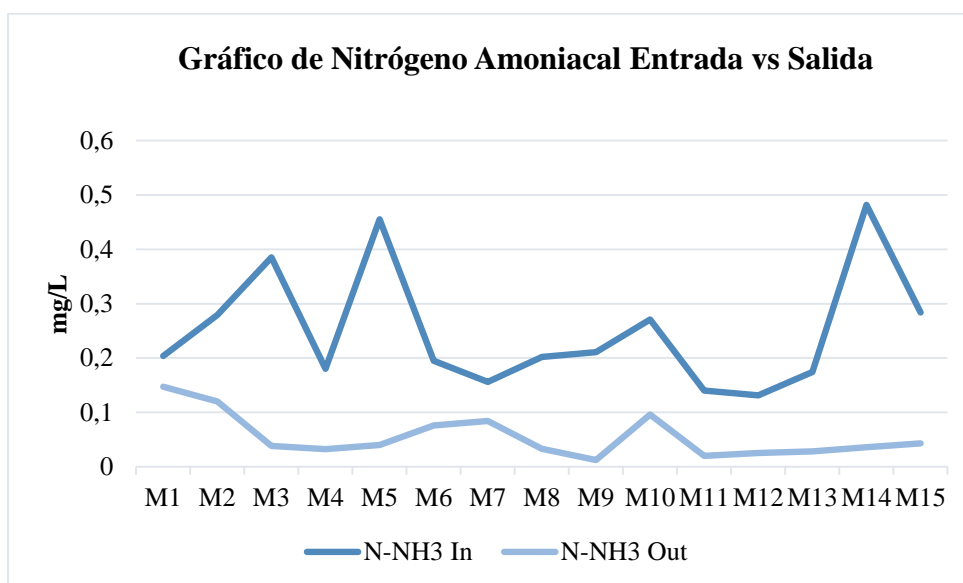


Gráfico N° 18: Gráfico de Nitrógeno Amoniacal Entrada vs Salida
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

El gráfico N° 18 representa las mediciones del Nitrógeno Amoniacal, el mismo que, es un compuesto químico característico de las aguas residuales y también se puede generar dentro del sistema anaerobio del reactor UASB SE-K01. El porcentaje de reducción del N-NH₃ es del 77,86%. La concentración de N-NH₃ se redujo debido a que, es un nutriente importante para el metabolismo de las bacterias (Varnero, 2011). Se considera este resultado como efectivo comparado con un reactor UASB de 145 litros de la Planta de Tratamiento de Agua Residual de Albarrancho, donde se determinó un 57% en la remoción de Nitrógeno Amoniacal. La concentración inicial fue de 40,48 mg/L y la concentración fina fue de 23,18 mg/L para el efluente (Mejía, 1999).

3.2.3.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA TURBIDEZ

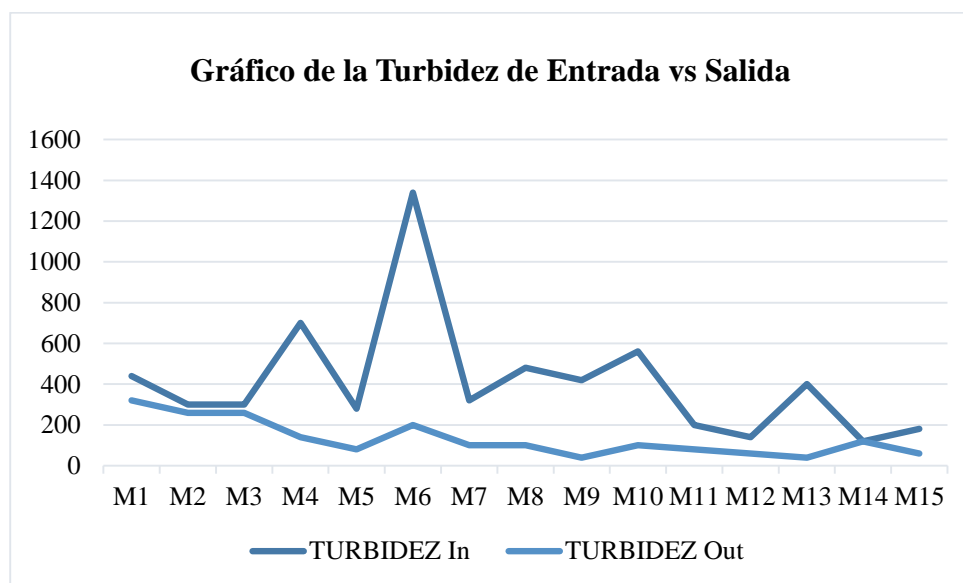


Gráfico N°. 19: Gráfico de la Turbidez de Entrada vs Salida
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

El gráfico N° 19 representa las mediciones de la turbidez en el reactor UASB SE-K01, donde se alcanzó un promedio de turbidez o reducción de la transparencia del agua del 68,28%. En el gráfico se aprecia que la mayoría de los valores después del tratamiento fluctúan entre 140 y 40 FAU. Los valores de turbidez antes del tratamiento presentan concentraciones altas y medias (300 y 1200 FAU), las mismas que son reducidas pero no en su totalidad. Este efecto posiblemente se debe a que el agua atraviesa el manto de lodo generando el arrastre de partículas (Coral, 2013). Zayas *et al.* (2006) proponen que la efectividad en la reducción de la turbidez con tratamientos biológicos para efluentes de vinaza de la industria de licores es de 24,6%.

3.2.3.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN COLOR

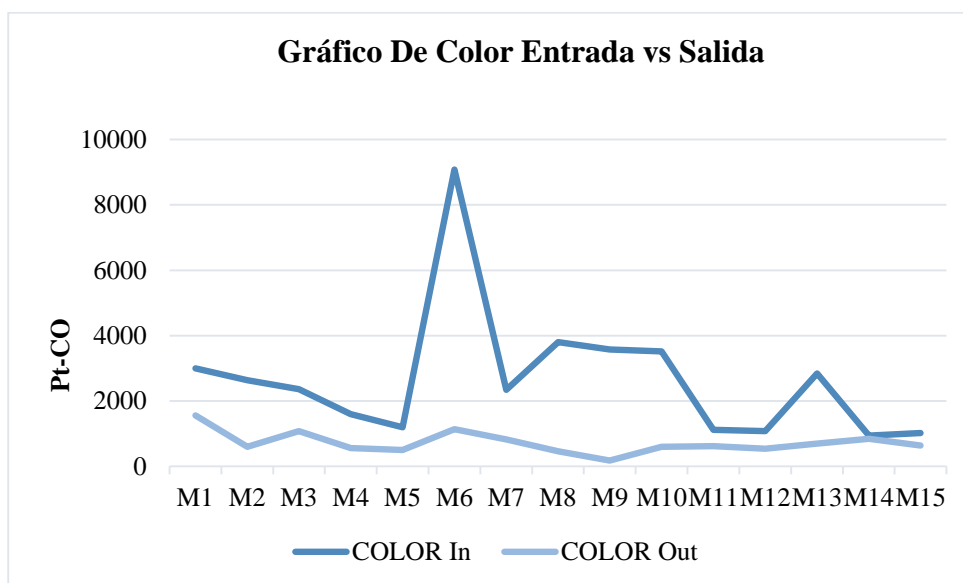


Gráfico N°. 20: Gráfico De Color Entrada vs Salida
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

El gráfico N° 20 representa las mediciones del color en el agua residual de estudio. El agua residual de la industria de embutidos cárnicos al ingresar al tratamiento en el reactor UASB SE-K01 presento un promedio de 2675 Pt-Co y al finalizar el tratamiento el promedio obtenido de las 15 mediciones fue de 723 Pt-Co, dando un 73% de efectividad de remoción del color. Este es un parámetro físico que no siempre es indicador de contaminación (Coral, 2013).

3.2.3.7 ANÁLISIS DEL RESULTADOS OBTENIDOS DEL pH

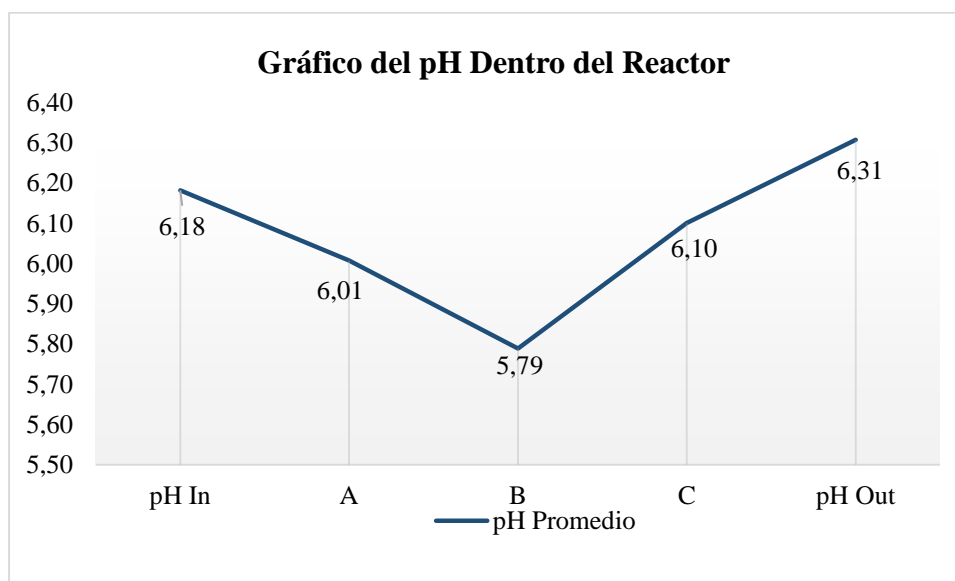


Gráfico N°. 21: Gráfico del pH Dentro del Reactor
Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

El gráfico N° 21 representa las mediciones en los puntos de muestro del reactor UASB son para determinar la separación según el pH de las fases internas de bioreactor. La línea representa el promedio de las 15 mediciones de pH en cada punto. El punto B es donde todas las muestras presentan una caída del pH, por lo que se precisó que en este punto se lleva a cabo la fase acidogénica. El pH de entrada y salida se mantuvo estable.

3.3 RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

El crecimiento bacteriano en los medios de cultivo confirmó la presencia de ciertos grupos específicos de bacterias y se presentan en la tabla N°20. Las imágenes de las placas se presentan en el Anexo 6

Tabla N°. 20: Resultados Microbiológicos

Parámetros	Unidades	Resultados	Técnica	Método
Bacterias Aerobias mesófilas	UFC/g	1.4×10^3	Recuento en placa	MMI-02/AOAC 990 .12
Bacterias Anaerobias mesófilas	UFC/g	2.8×10^6	Recuento en placa	MMI-25/AOAC 990.12
<i>Enterobacterias</i>	UFC/g	1.3×10^4	Recuento en placa	MMI-04/AOAC 990.12

<i>Pseudomonas spp</i>	UFC/g	1.0×10^5	Recuento en placa	AOAC 972.23
Bacilos formadores de endoesporas	UFC/g	1.1×10^6	Recuento en placa	AOAC 980.31
Bacterias Ácido Lácticas	UFC/g	3.9×10^4	Recuento en placa	AOAC 986.33

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Al hacer una caracterización microbiana del manto de lodos con el que funciona el reactor UASB SE-K0, las unidades formadoras de colonia (UFC) presentes oscilan entre 1.4×10^3 y 2.8×10^6 por gramo, algunos autores reportan 10^4 y 10^7 UFC por gramo para digestores anaeróbicos (Villa & Ramos, 1991).

Al analizar la tabla N° 20 se observa diferentes grupos de bacterias entre las que destacan *Enterobacterias* y bacterias *ácido lácticas* que según algunos autores son las bacterias predominantes en los lodos anaeróbicos y las que realizan el proceso de acidogénesis. La no presencia de mohos y levaduras puede ser debido a la presencia de ácidos orgánicos producidos en la acidogénesis y se tiende a eliminarlos (Altamira, Marín, & E, 2005).

Se encontraron 1.0×10^5 UFC/g de *Pseudomonas spp* las cuales reportan la fermentación metanogénica de fenoles bajo condiciones mínimas de oxigenación (Villa & Ramos, 1991).

Al encontrarse diferentes grupos de bacterias, se demuestra una separación de fases en la digestión anaerobia y se facilita la degradación de compuestos orgánicos.

3.4 RESULTADOS ESTADÍSTICOS

Tabla N°. 21: Estadística de los Pares

Estadística de los pares					
		Promedio	Núm. Muestras	Desv.Std	Error.Std
Par 1	DQO In	2622	15	1160,97	299,76
	DQO Out	208,8	15	85,45	22,06
Par 2	DBO In	456,7	15	54,53	14,08
	DBO Out	145,5	15	34,36	8,87
Par 3	ST I n	0,0019	15	0,0013	0,00034
	ST Out	0,00037	15	0,00014	0,000037

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

La tabla N° 21 contiene los datos estadísticos de todas las mediciones individuales para el DQO, DBO y ST, antes y después del tratamiento. En esta tabla los parámetros estadísticos analizados fueron: el Promedio, la Desviación Estándar y el Error Estándar. N corresponde al número de muestras

Tabla N°. 22: Resultado de la T-pareada

T-pareada									
					95% Intervalo de Confianza				
		Promedio	Desv. Std	Error.Std.Med	Mínimo	Máximo	t	df	Sig.(p)
Par 1	DQO In vs DQO Out	2417,7	1158,85	299,21	1775,9	3059,45	8,08	14	.000
Par 2	DBO In vs DBO Out	311,2	61,77	15,95	276,99	345,41	19,51	14	.000
Par 3	ST In vs ST Out	0,00113	0,0014	0,00038	0,00073	0,00023	4,16	14	.001

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

La tabla N° 22 corresponde a la validación estadística del tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos, utilizando el método de la T pareada en el programa SPSS.

Los parámetros analizados fueron DQO, DBO y ST; los mismos que fueron calculados de forma independiente. A cada uno de estos análisis se lo denominó como “Par”. A

diferencia que la tabla N°21, el programa calcula los parámetros estadísticos de forma integral tanto los valores de entrada como de salida (*In* y *Out*, respectivamente) para cada caso. El método consistió en sacar una diferencia entre *In* y *Out* de cada una de las 15 mediciones correspondientes a un parámetro ambiental. De todas estas 15 diferencias se sacó un promedio y una desviación estándar.

Para calcular el valor de *t* el programa empleo la siguiente ecuación

$$t = \frac{\text{Promedio}}{\left(\frac{\text{Desviación Estándar}}{\sqrt{df}} \right)}$$

Donde como valor de *t*, este valor es comparado con la base de datos de SPSS generando el valor de significancia *p*. Con los datos obtenidos en los análisis para el DQO y DBO se obtuvo un valor *p* menor a 0.0001 lo que se considera a los resultados muy altamente significativos, lo que implica que el bioreactor posee una eficiencia óptima debido a sus características y diseño, mientras que, para el análisis de la *t* pareada en el parámetro de Sólidos Totales el resultado se considera altamente significativo, lo que implica que para este parámetro el bioreactor sigue siendo bueno, pero no tan eficiente como para DQO y DBO.

Por lo tanto, de acuerdo al análisis estadístico la hipótesis nula se rechaza. Es decir que, el tratamiento en el reactor UASB SE-K01 fue muy efectivo para los parámetros analizados (Norman & Streiner, 1998).

3.5 RESULTADOS FINANCIEROS

Tabla N°. 23: Resultados Financieros

Recurso	Precio Unitario (USD)
Material del Reactor Vidrio acrílico de 1,2 m de ancho x 2 m de largo y 4 mm de espesor	400
Bomba peristáltica con caudal de 20mL/min-120mL/min, 12V, potencia de 4W	50

Macillas epóxicas	50
Silicona Impermeabilizante de Acrílico	15
Mangueras de silicona	4
Contenedores plásticos	40
Muestras de Agua Residual	80
Sellante industrial	12
Aislante de plástico	5
Sistema de control PID (Controlador+Resistencia+Termocupla)	40
Calentador de Pecera	20
Manómetro	5
Tuberías y Codos PVC de 1 pulgada	10
Llaves de 1 pulgada	15
Mangueras de Salida de plástico de 1 pulgada	3
Pruebas Microbiológicas de Conteo de Bacterias Anaerobias	115
Prueba de Aceites y Grasas	20
Prueba de Fenoles	20
Prueba de Detergentes	20
Prueba de Cloruros	20
Prueba de Sulfatos	18
Prueba de Nitratos Amoniacales	20
Kit de DQO	25
DBO (Hidróxido de Potasio)	5
Energía del Reactor (Operación de la Bomba, Calentador, Sistema PID)	80
Composición del Lodo Residual (Zeolitas, Cloruro de Aluminio, Nitratos, Fosforo)	30
Total	1072

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

Tabla N°. 24: Costo Operacional del Reactor UASB por Tratamiento en 19 Horas.

Costos de Operación				
Rubros	Equipo	Potencia	Cálculo	Total (USD)
fEnergía:	Bomba peristáltica	4W	$4W * \frac{1kW}{1000W} * 0,08 \frac{USD}{kWh} * 19h$	0,00608
	Controlador PID	1W	$1W * \frac{1kW}{1000W} * 0,08 \frac{USD}{kWh} * 19h$	0,00152
	Calentador de Pecera	50W	$50W * \frac{1kW}{1000W} * 0,08 \frac{USD}{kWh} * 19h$	0,076
Rubro	Reactivo	Cantidad	Cálculo	
Nutrientes	Zeolitas	250g	$250g * \frac{1Kg}{1000g} * 0,30 \frac{USD}{Kg}$	0,075
	Cloruro de Aluminio	15g	$15g * \frac{1Kg}{1000g} * 1 \frac{USD}{Kg}$	0,015
	Fosfato de Amonio	4g	$4g * \frac{1Kg}{1000g} * 0,8 \frac{USD}{Kg}$	0,003
	Fosfato de Calcio	4g	$4g * \frac{1Kg}{1000g} * 0,9 \frac{USD}{Kg}$	0,003
Total (USD)				0,18

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

En la tabla N° 24 se presentan el desglose del costo operacional del reactor UASB SE-K01 por tratamiento de 19 horas, con un caudal de 20mL/min es de 0,1796 USD en comparación a otros reactores y tratamientos anaerobios es una mejor opción.

Es más barata la construcción del reactor UASB SE-K01 comparando con otros autores:

Tabla N°. 25: Comparación Económica

Fuente	Tipo de Sistema	Población de diseño (hab)	Caudal de tratamiento (L/s)	Inversión per capita (USD)	Costo de construcción (USD)
Giraldo (1998)	UASB	-	370,00	7,87	751.500
Alcocer (1994)	Lagunas de estabilización	10300	14,093	3,63	37.409
Jurgensen (1997)	RALF	625	-	22,40	14.000
Giraldo (1998)	Reactor anaerobio a pistón	1300	-	-	117.000
Van Handeel(1998)	Lodos activados		22,00		990.000

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

CAPITULO 4 DISCUSIÓN

4.1 CONCLUSIONES

En la presente investigación se estudió la construcción de un reactor (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) a escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos. Para llevar a cabo este proyecto fue necesario contar con los conocimientos de Biotecnología del agua, Biotecnología Ambiental Microbiología, Electrónica, conocimientos matemáticos para el diseño, manejo de software para estadística, entre otros. La integración de estas bases académicas permitió la construcción del reactor a escala de laboratorio UASB SE-K01, que a través de la experimentación generó nuevos aportes al conocimiento. Los mismos que se validaron mediante la comparación bibliográfica y proporcionaron las siguientes conclusiones:

Para el diseño se concluye que es preciso determinar las variables: volumen del reactor (V_r), tiempo de retención hidráulica (TRH) y caudal (Q). En el reactor UASB SE-K01 se fijó el tiempo de retención hidráulica TRH de 19 horas, caudal Q de 20 mL/min y volumen V_r de 23 L.

La construcción se realizó en el material de vidrio acrílico por su rentabilidad, costos y necesidad. El tiempo de arranque duró 40 días y el manto de lodos ocupó el 10% del volumen del reactor. Se concluye que el inóculo presentó las condiciones deseadas debido a la activación presentada en la metodología.

El modo de operación permitió mantener el sistema estable y determinar el costo de cada tratamiento. El costo de tratamiento fue de 0,17 USD tomando en cuenta que este

valor incluyó los costos de los reactivos para el arranque del reactor UASB SE-K01. Posterior al arranque la adición de nutrientes fue innecesario.

Los reactores UASB a pequeñas escalas, con buenos cálculos de diseño y con un control de variables, son una buena opción para las pequeñas industrias. En vista que el costo de realizar una planta de tratamiento conlleva una inversión superior a los 10000 USD.

La eficiencia total del reactor UASB SE-K01 fue de 82% en la remoción de los parámetros analizados (DQO, DBO, ST, Ssed, Turbidez y Color). Por lo tanto, se concluye que este porcentaje es muy bueno para este tipo de reactores.

Se concluyó que el reactor UASB SE-K01 es muy eficiente para el tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos cárnicos alcanzando un porcentaje de eficiencia en la remoción del DQO del 91%.

Los porcentajes que presentaron bajo rendimiento en la remoción fueron: DBO, turbidez y color (68%, 68% y 72% respectivamente). Estos tres parámetros presentan una remoción similar debido a que el DBO se relaciona directamente con el color y la turbidez (Garrido, 2000). De igual forma no se ajustan a los límites permisibles por las normativas vigentes.

En el agua residual proveniente de la industria de embutidos cárnicos se caracteriza por contener altas concentraciones de aceites y grasas. Pese a que, es un componente difícil de degradar por su carácter hidrofóbico, el reactor UASB SE-K01 obtuvo un porcentaje

de remoción del 98,5% para las sustancias solubles en Hexano. Debido a que se realizó un pre-filtrado en la alimentación al reactor.

Se concluye que el reactor UASB SE-K01 no puede ser considerado como un sistema único de tratamiento, requiere de un post tratamiento.

Se concluyó que las bacterias anaerobias mesófilas, ácido lácticas y *Enterobacterias* son los grupos de mayor presencia en el reactor UASB SE-K01.

A través de las mediciones del pH se pudo observar que las bacterias se encuentran agrupadas según su proceso metabólico. En el punto B del muestreo el pH es de 5,79 respondiendo a la producción acidogénica.

Los factores: temperatura, pH, control PID, y la colocación del filtro de pretratamiento juegan un papel importante en la disminución de los valores permisibles por las normativas. Puesto a que estos agregados fueron una variación, comparada a otros estudios similares.

4.2 RECOMENDACIONES

Una vez concluido el presente estudio se recomendó:

- Realizar estudios de optimización del reactor UASB SE-K01 y su modo de operación.
- Construir nuevos prototipos con un material de uso industrial para poder escalar el proyecto y sus costos.
- Experimentar la influencia de la variación de los parámetros de diseño como el tiempo de retención hidráulica (TRH).
- Diseñar un sistema de tratamiento que combine el sistema UASB + aerobio.
- Evaluar los tratamientos de Reactor UASB SE-K01 tomando en cuenta la producción de gas metano, y su aplicabilidad para la obtención de energía.
- Analizar costos de un reactor a escala pequeña vs escala industrial, tomando en cuenta la rentabilidad del proceso o la eficiencia del proceso.
- Realizar experimentaciones con otro tipo de aguas residuales.
- Efectuar varios tratamientos en diferentes periodos de tiempo.
- Evaluar el rendimiento del reactor en la remoción de contaminantes vs la producción de gas metano.
- Realizar una caracterización e identificar las especies presentes en el reactor UASB.
- Determinar la cinética de crecimiento bacteriano para cada especie presente.
- Determinar la viabilidad de las bacterias presentes.

BIBLIOGRAFÍA

- ACRILUX S.A. (2013). Acrílicos Acrilux. Recuperado el 26 de Mayo de 2014, de <http://acrilux.com.ec/files/QUEESELACRILICO.pdf>
- Albim Alh. (2013). Albim Alh Bomba Peristáltica . Recuperado el 26 de Mayo de 2014, de http://www.albinpump.com/albindoc/brochures/ALH_Brochure_ES.pdf
- Altamira, R., Marín, J., & E, C. (2005). Degradación de fenoles totales durante el tratamiento biológico de aguas de producción petroleras. *Ciencia* v.13 n.3 Maracaibo, 1-6.
- American Society Testing Materials. (1988). Standard Test Methods for Turbidity of Water. USA.
- APHA, A. (1992). Metodos Normailizados para el analisis de agua y aguas residuales. New York: American Public Health Association Enc.
- Arango, O., & Sanches, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios de tipo UASB. *Facultad de Ciencias Agropecuarias Vol 2*, 1-8.
- Buyukkamaci, N., & Filibeli, A. (2004). Volatile fatty acid formation in an anaerobic hybrid reactor. *Process Biochemistry*, 39(11), 1491–1494.
- Cadena.R. (2003). Inventario de la Situación Actual de las Aguas Residuales Domesticas en Ecuador.
- Caicedo, F. J. (2006). Diseño, Construcción y Arranque de un Reactor UASB Piloto para el Tratamiento de Lixiviados. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Cain, N. (2005). The global water crisis. *Issues in Science & Technology*, 79-81.
- Cardenas Leon, J. (2010). Calidad del Agua. Obtenido de Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad de Caldas: <http://atenea.udistrital.edu.co/grupos/fluoreciencia/index.php>
- Chan, Y; Chong, M; Law,Ch; Hassell,D . (2009). A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 1-18.
- Chan.Y, C. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment on industrial and municipal wastewater . *Chem.Eng.J*, 1-18.
- Chaplin, M. (2006). Do we underestimate the importance of water in cell biology? *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 861-866.
- Conil, P. (2000). Avances conceptuales para el tratamiento de las aguas residuales. *Revista Gaceta Ambiental*, 24-41.
- Conil, P. (2008). La tecnologia anaerobia U.A.S.B en el tratamiento de las aguas residuales domesticas: 10 años de de desarrollo y maduracion en America Latina. *BIOTEC Waterloo Belgica*, 1-26.
- Conil, P. (2013). LA TECNOLOGIA ANAEROBIA U.A.S.B. EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS: 10 AÑOS DE DESARROLLO Y MADURACION EN AMERICA LATINA. Colombia.
- Coral, K. (2013). Control de la contaminacion de aguas residuales. Quito: UISEK.
- Cubillos, A. (2007). Parámetros y Caracterización de las Aguas Residuales. Lima.

- Cubillos, A. E., Rivera, G., & Sanabria, J. (2003). Reactores Anerobios para el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Merida, Venezuela.
- Davis, M., & Masten, S. (2004). Principles of environmental engineering and science. New York: McGraw Hill.
- Departamento de Química Orgánica de la Universidad de Barcelona. (2008). Microbiología de Alimentos. Barcelona: Universitat Press.
- Dolfing, J., Griffioen, A., & van Nerveen, A. (1985). Chemical and bacteriological composition of granular methanogenic sludge. *Can. J. Microbiol*, 744-750.
- Duborguier, H., Prensier, G., & Samain, E. (1985). Granular methanogenic sludge: microbial . *Proc. Lnt. Conf. Biomass*, 542-546.
- Echanique, P. (2008). Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, (MDMQ ed.). Quito.
- Elias, X. (2004). Gestión y Porstratamiento de EDAR. *Tecnología del Agua*, 34-52.
- EPMAPS. (2012). Estudio de impacto ambiental para la planta de recuperación de agua de Quitumbe. *Calidad Ambiental*, 1-394.
- Esparaza, H. (2011). Operacion de un reactor UASB a cargas organicas volumetricas variables y bajas temperaturas. *Tec y Biotec.Amb*, 1-6.
- Fang, H., Liu, Y., & Ke, S. (2004). Anaerobic degradation of phenol in wastewater at ambient temperature. *Water science and technology*, 95-102.
- FlowRox. (Marzo de 2012). Flowrox Proven Performance. Recuperado el 25 de Mayo de 2014, de http://www.flowrox.com/tiedostot/brochures/Flowrox-pumps/FlowroxHosePumps_e-version_SPA.pdf
- Fukuzaki, S. (1990). Inhibition of Fermentation of propionate to methane by hydrogen, acetate and propionate. *Appl.Environ.Microbiol*, 719-723.
- Gabastou, J. (2002). Características de la epidemia de colera en 1998 en Ecuador, durante el fenomeno del niño. *Revista Panamericana de la Salud*.
- Galarraga-Sanchez. (2000). Informe Nacional Sobre la Gestión del Agua en Ecuador. Quito.
- Gallego, M. (2006). Produccion mas limpia en la industria alimentaria. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Gallegos, M., & Celis, L. (2010). Competencia por sustrato durante el desarrollo de biomasa sulfatorreductora a partir de un lodo metanogénico en un reactor UASB. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 1-6.
- Garrido, S. (2000). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, LOCALIZADA EN IXTAPAN DE LA SAL, ESTADO DE MÉXICO. México.
- Gascón, M. (2006). Estrategias para la Disminución de Nitrógeno y Fósforo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta de Embutidos de Plumrose Latinoamericana, C.A. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Gerardi, M. (2003). The microbiology of Anaerobic digesters. Hooboken: John Wiley y Sons.
- Goel, P. (2006). Water Pollution Causes, Effects and Control. New Age International Publishers.

- Grady, C., Daigger, T., & Lim, H. (1999). *Biological Wastewater Treatment (Second Edition ed.)*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Grant, S., & Lin, K. (1995). Effect of temperatura and organic loading on the performance of UASB reactors. *Can. J. Civil Eng.*, 143-149.
- Guardia, Y. (2012). *Estudio de la digestión anaerobia en dos fases para el tratamiento de las aguas residuales de despulpe del beneficiado húmedo del cafe*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Guerrero, L. (2002). Gestión y diseño de una planta de tratamiento de residuos. *AIDIS*, 1-8.
- Guiot, S., Gorur, S., & Berg, L. (1985). Performance of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket . *Biotechnol. Bioen*, 800-806.
- Halalsheh, M. y. (2008). Integrated anaerobic-aerobic treatment of concentrated sewage. *Springer-Verlag* , 177-186.
- Hao, X. (2010). Microbiological Endogenous Processes in Biological Wastewater Treatment Systems. *Environmental Science and Technology*, 585-602.
- Henry, J. G. (1999). *Ingenieria Ambiental*. Mexico: Prentice Hall.
- Henzen, M., & Harremoes, P. (1983). Anaerobic Treatment of Waste Water in Fixed Film Reactor: a Literature Review. *Water Science & Technology*, XV.
- Herrera, J., Gonzáles, O., & Gonzáles, S. (2011). Efecto de la temperatura sobre la fermentación anaerobia de aguas residuales municipales. Mexico D.F: Universidad Autónoma de México.
- Howard, B. (2003). The World's Water Crisis. *The Environmental Magazine*, 32-34.
- IDEAM. (2000). *Desempeño Ambiental de la Tecnología en la Industria Colombiana*. Colombia.
- INEN. (1996). *Carnes y Productos Cárnicos.Requisitos*. NTE INEN 1338.
- Iñiguez, C. (2011). *EVALUACIÓN DE UN REACTOR DE MANTO DE LODO CON FLUJO ASCENDENTE (UASB) CON CAMBIOS DE VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN*. Ingeniería, Investigacion y Tecnología, 1-15.
- Iñiguez, G., & Camacho, A. (2010). Evaluación de un reactor de manto de lodo con flujo ascendente (UASB) con cambios de velocidad de alimentación. *Guadalajara*.
- Irving, S., & Lewis, R. (1989). *Dangerous properties of industrial materials*. Van Nostrand Reinhold, Seventh edition.
- Leonard, N. (1998). *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Lettinga, G. (1986). New technologies for anaerobic treatment. *Wat.Sci.Tech*, 41-53.
- Lettinga, G., & Hulshoff, L. (1989). *Diseno de reactores anaerobicos para tratamiento de aguas residuales solubles no complejas*. Cali : Seminar Criterios de diseno para sistemas de tratamiento anaerobico UASB, Universidad del Valle.
- Lettinga, G., Hobma, S., W, H., De Zeeuw, W., De Jong, P., Grin, P., & Roersma, R. (1983). Design Operation and Economy of Anaerobic Treatment. *Water Science & Technology*, 15, 177-195.
- Lettinga, G., Rebac, S., & Zeeman, G. (2001). Challenge of Psychrophilic Anaerobic Wastewater Treatment. *Trends in Biotechnology*.

- Lomeli, M. (Noviembre de 2007). SAGAN-GEA. Obtenido de "Porque no degradar la naturaleza": <http://www.sagan-gea.org/hojared-AGUA.html>.
- López, J. (2011). Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales-escala laboratorio.
- López, M. E. (2007). Tratamiento biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola. Recuperado el 24 de Mayo de 2014, de <http://www.engormix.com/MA-avicultura/manejo/articulos/tratamiento-biologico-aguas-residuales-t1481/124-p0.htm>.
- Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. . ICIDCA, 13-21.
- Lorenzo, Yaniris; Rojas. (2010). Tratamiento anaeróbico de residuales. Aspecto sconstructivos y de diseño. ICIDCA, 21-27.
- Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H., & LeĴ inga, G. (2003). Solids Removal in Upfl ow Anaerobic Reactors, a Review. Bioresour. Technol., 90, 1-19.
- Mejía, J. (1999). Diseño, Construcción y Evaluación de un Reactor UASB para el Tratamiento de Aguas Resiaduales. Quillacoto.
- Méndez, R., Velázquez, R., & Castillo, E. (2013). Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal. Yucatán, México.
- Ministerio de Ambiente. (2006). Guia de mejores tecnicas disponibles en España en el sector carnico. Obtenido de <http://www.marm>.
- Monroy, O. (1996). Where is anaerobic technology in Mexico? Satate of technology, limitations and potential for its developepment. Bucaramanga,Colombia.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2008). Ordenanza Metropolitano N 213. Artículo II.381.45. Quito.
- Muñoz, D. (2005). Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Matadero. Popayán.
- Nadais, H., Capela, I., Arroja, L., & Duarte, A. (2001). Effect of organic, hydraulic and fat shocks on the performance of UASB reactor with intermittent operation. Water Science & Technology, 44, 49 - 56.
- NADAIS, H., CAPELA, I., ARROJA, L., & DUARTE, A. (2001). Effect of organic, hydraulic and fat shocks on the performance of UASB reactor with intermittent operation. Water Science & Technology, 44, 49 - 56 .
- Nemerow, N., & Avijit. (1998). Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. Madrid: Ediciones Diaz de Santos.
- Norman, G., & Streiner, D. (1998). Bioestadística. España: Harcourt Brance.
- Nothwehr, D. (2010). Water for Life. New Technology Review, 5-15.
- PAHO. (2003). Basic Health Indicator Data Base. WHO.
- Pérez, A., & Torres, P. (2008). Indices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables. Ingeniería y Competitividad,, 10(2), 41-52.
- Pfanz, M. (2010). World Water Day: Dirty kills more people than violence,says UN. Lamu, Kenya: The Christian Science Monitor.

- Presidencia de la República del Ecuador. (2008). Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria. Quito.
- Qasim, S. (2000). Wastewater Treatment Plants: Planning, design and operation. Boca Raton: CRC Press.
- Rhoades, R. (2006). Desarrollo con identidad: comunidad, cultura y sustentabilidad en los Andes. Quito: Abya Yala.
- Rittmann, B. E. (2006). Microbial Ecology and Environmental. Environmental Science and Technology, 1096-1103.
- Romero, J. (1999). Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño. Santa Fe de Bogotá: E.E.C.d Ingeniería.
- Rovira, J. (2005). Caracterización de Corrientes Industriales.
- Schellinkhout, A. (2006). Long-term experience with UASB technology for sewage treatment on large scale. Proc. of the Seventh Int. Symposium on Anaerobic Digestion, 251-254.
- SEAI. (2003). How to calculate the retention time and the organic loading rate. Recuperado el 27 de Mayo de 2014, de http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Bioenergy_Technologies/Anaerobic_Digestion/The_Process_and_Techniques_of_Anaerobic_Digestion/How_to_calculate_the_retention_time_and_the_organic_loading_rate.pdf
- Specce, R. (1996). Anaerobic biotechnology for industrial wastewater. Nashville, Tennessee: Archea Press.
- Toapanta, M. (2009). Grasas y Aceites en el agua residual.
- Torres, P. (2012). Perspectiva del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. EIA, 115-129.
- Towler, G., & Sinnott, R. (2008). CHEMICAL ENGINEERING DESIGN (Primera ed.). California: Elsevier.
- Udeh, P. (2004). A Guide to Healthy Drinking Water. iUniverse Lincoln.
- UNAC. (2011). Respiración Anaerobia. Perú.
- Van Haandel, A., & Lettinga, G. (1994). Anaerobic sewage treatment. A practical guide for regions with a hot climate. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.
- Van Haandel, A., & Lettinga, G. (1994). Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate. J. Wiley.
- Varnero, T. (2011). Manual del Biogas. Santiago, Chile: Ministerio de Energía.
- Villa, P., & Ramos, J. (1991). Algunos aspectos microbiológicos de un proceso de doble etapa en reactores UASB alimentados con vinaza de destilería. Instituto Cubano de Investigaciones de los derivados de la Caña de azúcar., 431-434.
- Vinacua, B. (2007). Análisis Estadístico con SPSS 14: Estadística Básica. Madrid: McGraw-Hill.
- Wang, P., & W, L. (2001). Electrochemical oxidation of leachate pretreated in an upflow anaerobic sludge blanket reactor. PubMed Environ Technol., 73-81.

- Yu, H., Fang, H., & Tay, J. (2001b). Enhanced sludge granulation in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors by aluminum chloride. *Chemosphere*, 44, 31-36.
- Yu, H., Tay, J., & Fang, H. (2001). The roles of calcium in sludge granulation during UASB reactor start-up. *Environmental Engineering*, 35(4), 1052-1060.
- Zábranská, J., Štěpová, J., Wachtl, R., Jeníek, P., & Dohányos, M. (2000). The activity of anaerobic biomass in thermophilic and mesophilic digesters at different loading rates. *Water Science & Technology*, 42, 49-56.
- Zayas, T., Romero, V., Meraz, M., & Salgado, L. (2006). Tratamiento de Agua Residual con Alta Carga Orgánica y Color Provenientes de Procesos de Vinaza. Iztapalapa, México.

ANEXOS

ANEXO N°. 1: Tablas de Otros Autores

ANEXO N°. 1.1: Bioreactores de alta tasa con sistemas anaerobios - aerobios

Tipo ^a	Tipo de agua residual ^b	DQO mg/L afluente	TCO ^c	% Remoción DQO total	% Remoción anaerobia DQO	% Remoción aerobia DQO	TRH ^d total (h o d)	TRH ^d anaerobia (h o d)	TRH ^d aerobia (h o d)
UASB + CSRT	Entintado ácido de lana	489 - 2000	-	83 - 97	51 - 84	-	3.3 d	17 h	-
UASB + CSRT	Molienda de textiles de algodón	604 - 1038	-	45 - 85	9 - 51	-	5.75 d	30 h	4.5 d
2 UASB + CSRT	Lechada de residuos sólidos alimenticios	5400 - 20000	4.3 - 16	96 - 98	59 - 79	85 - 89	5.75 d	1.25 d	4.5 d
UASB + CSRT	Efluente de la industria de la pulpa y el papel	5500 - 6600	16	91	85	-	11.54 h	5 h	6.54 h
UASB + CSRT	Agua residual de la Industria farmacéutica	3000	3.6	97	68 - 89	71 - 85	-	-	-
UASB + LA	Agua residual municipal + agua residual de molienda de aceitunas	1800 - 4400	3 - 7	95 - 96	70 - 90	>60	28.3 h	14.7 h	13.6 h
UASB + LA	Agua residual municipal	386 - 958	-	85 - 93	69 - 84	43 - 56	6.8 h	4 h	2.8 h
UASB + LA	Industria del almidón	20 000	15	-	77 - 93	-	-	-	-
UASB + AFB	Agua residual textil sintética	2000 - 3000	-	-	-	-	2.7-3.2 h	14 - 20 h	13 - 12.7 h
RBC + SBR	Mezcla de suero de queso y lácteos, estiércol	37400 - 65700	5.2 - 14.1	99	46.3 - 62.6	93 - 95	-	2 - 5 d	-
RBC + SBR	Residuos lácteos tamizados	39900 - 40100	8.2 - 26.8	98	18.7 - 29	86 - 87	-	1 - 4 d	-
FFB + FFB	Aguas residuales de un rastro	400 - 1600	0.39	92	-	-	4.7 - 7.3 d	1.2 d	3.5 - 6.1 d-

(Chan, Y; Chong, M; Law, Ch; Hassell, D, 2009)

ANEXO N°. 1.2: Rendimiento de los Bioreactores UASB según otros autores

Autor	Sustrato	TRH (h)	Inóculo	Adición de reactivo	Arranque (d)	DQO _i (mg/L)	DQO _e (mg/L)	SST _e (mg/L)	% Remoción
(Lara 1995)	Sintético	24	Lodo anaerobio	----	146	3176	599	----	81
(Calli <i>et al.</i> 2006)	Lixiviados	48	Lodo anaerobio	fósforo	---	12,350	----	---	75
(Yu <i>et al.</i> 2001 _a)	Sintético	48	Lodo anaerobio	AlCl ₃	35	4000	----	----	90
(Torres <i>et al.</i> 2004)	Sintético	24-6	Lodo anaerobio	FeCl ₃	72	1600	----	----	80
(Anushyaa 2006)	Sintético	24	Lodo anaerobio	----	----	2240	----	----	88
(Mohammad 2008)	Agua residual tratada	72	Lodo anaerobio	----	----	1267	----	----	87
(Luostarinen <i>et al.</i> 2007)	Agua negras	96	Lodo granular	----	----	1716	602	----	65
(Mengchun 2007)	Destilado	60	Lodo anaerobio	NaHCO ₃	----	42000	----	----	80
(Ghangrekar <i>et al.</i> 2005)	Sintética	16	Lodo anaerobio	----	90	3253	----	----	95
(Kuan-Yeow <i>et al.</i> 2004)	Sintética	60	Lodo anaerobio	----	10 - 80	2500	----	----	85
(Yu <i>et al.</i> 2001 _b)	Sintética	48	Lodo anaerobio	Ca ²⁺	75	4000	----	----	90
(Torres <i>et al.</i> 2005)	Lixiviados	24	Lodo de laguna	Fósforo, HCl	----	6000	1300	----	90
(Álvarez <i>et al.</i> 2006)	Lixiviado	36	Lodo anaerobio	Ajuste pH	----	16334	----	----	65
(Rodríguez 2006)	Domestica	24-6.7	Lodo de laguna	----	28	526	105	----	80

(Méndez, Velázquez, & Castillo, 2013)

ANEXO N°. 1.3: Datos de operación de un reactor UASB para agua residual de la industria de cárnicos a temperatura menores de 15°C.

Reactor type	Influent	Concentration (g COD dm ⁻³)	OLR (kg COD m ⁻³ d ⁻¹)	Temperature (°C)	HRT (h)	Efficiency (%)	Refs
AAFEB ^a	Glucose	0.2-0.6	4-16	10	1-6	40-80	9
ASF ^b	Peptone	0.2 ^h	0.64	5-10	7.5	27-35	14
UASB ^c	Sugar Vinasse	0.2-0.4	0.7-6.5	8	1.5-14	32-65	27
EGSB ^d	VFA	2.6	2.0	12	32	50	27
UASB ^e	Beef consommé	1.4-7.0	2-10	10	16	49-80	28
EGSB ^d	VFA	0.5-0.8	10-12	10-12	1.6-2.5	90	16
ASBR ^e	Dry milk	0.6	0.6-2.4	5-10	6	65-85	37
EGSB ^f	Malting	0.2-1.8	3-12	10-15	3.5	67-78	38
EGSB ^f	VFA	0.5-0.9	5-12	4-8	2-4	90	18
UASB ^e	Wine Vinasse	1.2-5.2	0.3-7.3	4-11	12-38	15-92	39
UASB ^g	Wine Vinasse	1.1-5.4	0.8-5.5	4-10	19-31	16-80	39

^aAnaerobic attached film expanded bed reactor. ^bAnaerobic submerged filter tank. ^cUpflow anaerobic sludge blanket reactor. ^dSingle stage expanded granular sludge bed reactor. ^eAnaerobic sequencing batch reactor. ^fTwo stage expanded granular sludge bed reactor. ^gTwo stage upflow anaerobic sludge blanket reactor. ^hg BOD dm⁻³.

ANEXO N°. 2: Protocolos

ANEXO N°2.1: Protocolo para el Demanda Química De Oxígeno de reflujo abierto SM

5520B

1. Objetivo

Determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en una muestra de agua residual utilizando el método de reflujo abierto.

2. Teoría

3. Equipos, Materiales y Reactivos

3.1 Equipos

- Estufa
- Balanza Analítica

3.2 Material

- Vasos de precipitación
- Erlenmeyer de 250 mL
- Balón de destilación
- Refrigerante
- Soporte Universal
- Buretas
- Pissetas
- Pinzas para buretas
- Pinzas para balones con nuez

3.3 Reactivos

- Muestras de agua problema
- Agua destilada
- Dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$
- Ácido sulfúrico concentrado H_2SO_4
- Sulfato de plata Ag_2SO_4
- 1-10 fenatrolina monohidratado
- Sulfato ferroso amoniacal $(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
- Sulfato ferroso $FeSO_4$
- Sulfato Mercúrico $HgSO_4$
-

4. Procedimiento

4.1 Preparación de reactivos

4.1.1 Preparación de solución de Dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ 0,25N

Pesar 12.259 g de Dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$, de calidad reactivo, secado previamente a 103 °C durante 2 horas.

Colocar el Dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ en un vaso de precipitación de 100 mL y disolverlo con aproximadamente 200 mL de agua destilada.

Trasvasar la mezcla anterior a un balón aforado de 1000 mL, lavar el vaso con agua y colocarla en el balón. Ayudados de una piseta aforar a 1000 mL.

4.1.2 Preparación del reactivo ácido sulfúrico

Pesar 10,12 g de Sulfato de plata Ag_2SO_4 .

Colocar el reactivo en un litro de ácido sulfúrico concentrado. Dejar reposar de 1 a 2 días para disolver el sulfato de plata.

4.1.3 Preparación de la solución indicadora ferroín.

- Pesar 1.485 g de 1-10 fenantrolina monohidratado
- Pesar 0,695 g de Sulfato ferroso $FeSO_4$
- Colocar los reactivos en un vaso de precipitación de 100 mL y disolverlos con aproximadamente 50 mL de agua destilada.
- Trasvasar la mezcla anterior a un balón aforado de 100 mL, lavar el vaso con agua y colocarla en el balón. Ayudados de una piseta aforar a 100 mL. Esta solución se denomina ferroín.

4.1.4 Preparación del Sulfato ferroso amoniacal $(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,0625N

- Pesar 24.5 g de Sulfato ferroso amoniacal $(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
- Colocar el reactivo en un erlenmeyer de 250 mL y disolverlo con aproximadamente 200 mL de agua destilada.
- Añada 20 mL de Ácido sulfúrico concentrado.
- Trasvasar la mezcla anterior a un balón aforado de 1000 mL, lavar el vaso con agua y colocarla en el balón. Ayudados de una piseta aforar a 1000 mL.

4.2 Preparación de la muestra para el análisis de DQO

- Colocar 10 mL de muestra problema o de la dilución adecuada en el balón de destilación.
- Añadir 0.1g de Sulfato de Mercurio.
- Añadir 5 mL de solución de dicromato de potasio 0,25 N.
- Añadir 15 mL de la mezcla de ácido sulfúrico - sulfato de plata, con mucho cuidado y con un baño frío en la parte inferior del balón, utilizando una bureta. Añadir núcleos de ebullición.
- Armar el equipo de reflujo abierto, conectar la plancha calefactora y dejar la muestra en reflujo por espacio de 2 horas.
- Una vez terminado el tiempo de reflujo, enfríese y lávese el refrigerante con agua destilada y diluya la mezcla hasta aproximadamente el doble de su volumen con agua destilada.
- Enfríe a temperatura ambiente y determine el exceso de dicromato de potasio con la solución de sulfato ferroso amoniacal SAF y usando como indicador al ferroín. Coloque 3 gotas de ferroín a la muestra digerida.
- Titular la muestra con sulfato ferroso amoniacal 0.0625 N de sodio 0.0109 N hasta que se dé el primer cambio de color de azul verdoso a marrón rojizo. Anotar los mL de SAF gastado.

- Paralelamente a todo el procedimiento anterior digiera y titule una muestra blanco, utilizando para la digestión 10 mL de agua destilada.

4.3 Valoración de la Normalidad del sulfato ferroso amoniacal

- Colocar en un vaso de precipitación 5 mL de solución de dicromato de potasio 0,25 N.
- Añadir 5 mL de solución de ácido sulfúrico - sulfato de plata.
- Diluya a aproximadamente 50 mL con agua destilada.
- Añada 3 gotas del indicador ferroín.
- Titular la mezcla con sulfato ferroso amoniacal 0.0625 N de sodio 0.0109 N hasta que se dé el primer cambio de color de azul verdoso a marrón rojizo.

Parámetro analizado	Unidades	Dato
Sulfato ferroso amoniacal SAF para cálculo de N	mL	
Sulfato ferroso amoniacal SAF para el blanco	mL	
Sulfato ferroso amoniacal SAF para la muestra	mL	

7. Cálculos:

$$N \text{ SAF} = \frac{\text{mL de Dicromato de potasio} * 0.25}{\text{Volumen de SAF usado en la titulación}}$$

$$DQO = \frac{(A - B) * N \text{ SAF} * 8000 \times \text{dilución}}{\text{Volumen de muestra usada en la digestión}}$$

Dónde:

A → son los mL de SAF gastados en la titulación del blanco

B → son los mL de SAF gastados en la titulación de la muestra problema

N → normalidad del SAF

ANEXO N° 2.2: Protocolo para Determinar Sulfatos

1. Objetivo:

Determinar la concentración de sulfatos una muestra de agua.

2. Teoría:

3. Equipos, Materiales y Reactivos:

3.1. Equipos:

- Espectrofotómetro HACH

3.2. Material:

- Vasos de precipitación
- Pipetas volumétricas de 25 mL
- Celdas HACH
- Ayudante de pipeteo
-

3.3. Reactivos:

- Muestras de agua problema
- Agua destilada
- Sulfaver 4

4. Procedimiento:

4.1. Determinación de Sulfatos

En el equipo HACH poner el número de programa 680. Llevar la longitud de onda a 450 nm. Presionar la tecla *READ / ENTER*.

Llenar las dos celdas con 25 mL de muestra problema. A una de las celdas añadir una pastilla de Sulfaver 4, agitar. Presione *SHIFT + TIMER*, comenzará un período de reacción de 5 minutos. Cuando el equipo esté listo dará una señal de aviso, el display mostrará mg/L de $\text{SO}_4^{=}$.

Coloque la celda con la muestra blanco (muestra sin reactivos) en el equipo. Presione la tecla *ZERO*, con lo cual se encera el equipo.

Colocar la celda con muestra problema tratada con los reactivos en el equipo, cerrar la tapa y presionar *READ / ENTER*. Anotar el valor indicado. Realizar la lectura dentro de los 5 minutos siguientes después de que la muestra ha sido preparada.

ANEXO N°2.3: Protocolo para Determinar Nitrógeno Amoniacal Kit HACH

Objetivo

Determinar la concentración de nitrógeno amoniacal en una muestra de agua.

2. Teoría

3. Equipos, materiales y reactivos

3.1. Equipos:

- Espectrofotómetro HACH

3.2. Materiales:

- Kit Nitrógeno Amoniacal HACH

4. Procedimiento

4.1 Determinación de nitrógeno amoniacal:

Remover sellante la *DosiCap*, agregar 5mL de la muestra y sellar con la *DosiCap*.

Agitar de tres a cuatro veces y esperar 15 minutos.

Llevar al equipo HACH y dar lectura.



ANEXO N°2.4: Protocolo para Determinar Detergentes o Sustancias solubles en Azul de Metileno SM 5540C

1. General Discussion

Definition and principle: Methylene blue active substances (MBAS) bring about the transfer of methylene blue, a cationic dye, from an aqueous solution into an immiscible organic liquid upon equilibration. This occurs through ion pair formation by the MBAS anion and the methylene blue cation. The intensity of the resulting blue color in the organic phase is a measure of MBAS. Anionic surfactants are among the most prominent of many substances, natural and synthetic, showing methylene blue activity. The MBAS method is useful for estimating the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater © Copyright 1999 by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation anionic surfactant content of waters and wastewaters, but the possible presence of other types of MBAS always must be kept in mind.

This method is relatively simple and precise. It comprises three successive extractions from acid aqueous medium containing excess methylene blue into chloroform (CHCl_3), followed by an aqueous backwash and measurement of the blue color in the CHCl_3 by spectrophotometry at 652 nm. The method is applicable at MBAS concentrations down to about 0.025 mg/L.

2. Apparatus

a. Colorimetric equipment: One of the following is required:

- 1) *Spectrophotometer*, for use at 652 nm, providing a light path of 1 cm or longer.
- 2) *Filter photometer*, providing a light path of 1 cm or longer and equipped with a red color filter exhibiting maximum transmittance near 652 nm.

b. Separatory funnels: 500-mL, preferably with inert TFE stopcocks and stoppers.

3. Reagents

a. Stock LAS solution: Weigh an amount of the reference material*#(130) equal to 1.00 g LAS on a 100% active basis. Dissolve in water and dilute to 1000 mL; 1.00 mL = 1.00 mg LAS.

Store in a refrigerator to minimize biodegradation. If necessary, prepare weekly.

b. Standard LAS solution: Dilute 10.00 mL stock LAS solution to 1000 mL with water; 1.00 mL = 10.0 µg LAS. Prepare daily.

c. Phenolphthalein indicator solution, alcoholic.

d. Sodium hydroxide, NaOH, 1N.

e. Sulfuric acid, H_2SO_4 , 1N and 6N.

f. Chloroform, CHCl_3 : CAUTION: *Chloroform is toxic and a suspected carcinogen. Take appropriate precautions against inhalation and skin exposure.*

g. Methylene blue reagent: Dissolve 100 mg methylene blue†#(131) in 100 mL water. Transfer 30 mL to a 1000-mL flask. Add 500 mL water, 41 mL 6N H_2SO_4 , and 50 g sodium phosphate, monobasic, monohydrate, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Shake until dissolved. Dilute to 1000mL.

h. Wash solution: Add 41 mL 6N H_2SO_4 to 500 mL water in a 1000-mL flask. Add 50 g $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and shake until dissolved. Dilute to 1000 mL.

i. Methanol, CH_3OH . CAUTION: *Methanol vapors are flammable and toxic; take appropriate*

precautions.

j. Hydrogen peroxide, H₂O₂, 30%.

k. Glass wool: Pre-extract with CHCl₃ to remove interferences.

l. Water, reagent-grade, MBAS-free. Use for making all reagents and dilutions.

4. Procedure

a. Preparation of calibration curve: Prepare an initial calibration curve consisting of at least five standards covering the referenced (§ 1 *f*) or desired concentration range. Provided that linearity is demonstrated over the range of interest ($r = 0.995$ or better) run daily check standards at the reporting limit and a concentration above the expected samples' concentration. Check standard results should be within 25% of original value at the reporting limit and 10% of original value for all others. Otherwise, prepare a new calibration curve.

Prepare a series of separatory funnels for a reagent blank and selected standards. Pipet portions of standard LAS solution (§ 3*b*) into funnels. Add sufficient water to make the total volume 100 mL in each separatory funnel. Treat each standard as described in §§ 4*d* and *e* following, and plot a calibration curve of absorbance vs. micrograms LAS taken, specifying the molecular weight of the LAS used.

b. Sample size: For direct analysis of waters and wastewaters, select sample volume on the basis of expected MBAS concentration:

Expected MBAS Concentration mg/L	Sample Taken mL
0.025–0.080	400
0.08 –0.40	250
0.4 –2.0	100

If expected MBAS concentration is above 2 mg/L, dilute sample containing 40 to 200 µg MBAS to 100 mL with water. For analysis of samples purified by sublation, dissolve sublimate residue (Section 5540B.4*e*) in 10 to 20 mL methanol, quantitatively transfer the entire amount (or a suitable portion if more than 200 µg MBAS is expected) to 25 to 50 mL water, evaporate without boiling until methanol is gone, adding water as necessary to avoid going to dryness, and dilute to about 100 mL with water.

c. Peroxide treatment: If necessary to avoid decolorization of methylene blue by sulfides, add a few drops of 30% H₂O₂.

d. Ion pairing and extraction:

1) Add sample to a separatory funnel. Make alkaline by dropwise addition of 1*N* NaOH, using phenolphthalein indicator. Discharge pink color by dropwise addition of 1*N* H₂SO₄.

2) Add 10 mL CHCl₃ and 25 mL methylene blue reagent. Rock funnel vigorously for 30 s

and let phases separate. Alternatively, place a magnetic stirring bar in the separatory funnel; lay funnel on its side on a magnetic mixer and adjust speed of stirring to produce a rocking motion. Excessive agitation may cause emulsion formation. To break persistent emulsions add a small volume of isopropyl alcohol (<10 mL); add same volume of isopropyl alcohol to all standards. Some samples require a longer period of phase separation than others. Before draining CHCl₃ layer, swirl gently, then let settle.

3) Draw off CHCl₃ layer into a second separatory funnel. Rinse delivery tube of first separatory funnel with a small amount of CHCl₃. Repeat extraction two additional times, using 10 mL CHCl₃ each time. If blue color in water phase becomes faint or disappears, discard and repeat, using a smaller sample.

4) Combine all CHCl₃ extracts in the second separatory funnel. Add 50 mL wash solution and shake vigorously for 30 s. Emulsions do not form at this stage. Let settle, swirl, and draw off CHCl₃ layer through a funnel containing a plug of glass wool into a 100-mL volumetric flask; filtrate must be clear. Extract wash solution twice with 10 mL CHCl₃ each and add to flask through the glass wool. Rinse glass wool and funnel with CHCl₃. Collect washings in volumetric flask, dilute to mark with CHCl₃, and mix well. *e. Measurement:* Determine absorbance at 652 nm against a blank of CHCl₃.

5. Calculation

From the calibration curve (¶ 4a) read micrograms of apparent LAS (mol wt _____) corresponding to the measured absorbance.

$$\text{mg MBAS/L} = \frac{\mu\text{g apparent LAS}}{\text{mL original sample}}$$

Report as “MBAS, calculated as LAS, mol wt _____.”

ANEXO N°2.5: Protocolo para Determinar Fenoles 5530 B.

1. Principle

Phenols are distilled from nonvolatile impurities. Because the volatilization of phenols is gradual, the distillate volume must ultimately equal that of the original sample.

2. Apparatus

a. *Distillation apparatus*, all-glass, consisting of a 1-L borosilicate glass distilling apparatus with Graham condenser.*#(126)

b. *pH meter*.

3. Reagents

Prepare all reagents with distilled water free of phenols and chlorine.

a. *Phosphoric acid solution*, H_3PO_4 , 1 + 9: Dilute 10 mL 85% H_3PO_4 to 100 mL with water.

b. *Methyl orange indicator solution*.

c. *Special reagents for turbid distillates*:

1) *Sulfuric acid*, H_2SO_4 , 1N.

2) *Sodium chloride*, NaCl .

3) *Chloroform*, CHCl_3 , or *methylene chloride*, CH_2Cl_2 .

4) *Sodium hydroxide*, NaOH , 2.5N: Dilute 41.7 mL 6N NaOH to 100 mL or dissolve 10 g NaOH pellets in 100 mL water.

4. Procedure

a. Measure 500 mL sample into a beaker, adjust pH to approximately 4.0 with H_3PO_4 solution using methyl orange indicator or a pH meter, and transfer to distillation apparatus. Use a 500-mL graduated cylinder as a receiver. Omit adding H_3PO_4 and adjust pH to 4.0 with 2.5N NaOH if sample was preserved as described in 5530A.4.

b. Distill 450 mL, stop distillation and, when boiling ceases, add 50 mL warm water to distilling flask. Continue distillation until a total of 500 mL has been collected.

c. One distillation should purify the sample adequately. Occasionally, however, the distillate is turbid. If so, acidify with H_3PO_4 solution and distill as described in ¶ 4b. If second distillate is still turbid, use extraction process described in ¶ 4d before distilling sample.

d. *Treatment when second distillate is turbid*: Extract a 500-mL portion of original sample as follows: Add 4 drops methyl orange indicator and make acidic to methyl orange with 1N H_2SO_4 . Transfer to a separatory funnel and add 150 g NaCl . Shake with five successive portions of CHCl_3 , using 40 mL in the first portion and 25 mL in each successive portion. Transfer CHCl_3 layer to a second separatory funnel and shake with three successive portions of 2.5N NaOH solution, using 4.0 mL in the first portion and 3.0 mL in each of the next two portions. Combine alkaline extracts, heat on a water bath until CHCl_3 has been removed, cool, and dilute to 500 mL with distilled water. Proceed with distillation as described in ¶s 4a and b.

NOTE: CH_2Cl_2 may be used instead of CHCl_3 , especially if an emulsion forms when the CHCl_3 solution is extracted with NaOH .

ANEXO N°2.6: Protocolo para Determinar Cloruros SM 4500 Cl⁻ B

4500-Cl⁻ B. Argentometric Method

1. General Discussion

- a. *Principle:* In a neutral or slightly alkaline solution, potassium chromate can indicate the end point of the silver nitrate titration of chloride. Silver chloride is precipitated quantitatively before red silver chromate is formed.
- b. *Interference:* Substances in amounts normally found in potable waters will not interfere. Bromide, iodide, and cyanide register as equivalent chloride concentrations. Sulfide, thiosulfate, and sulfite ions interfere but can be removed by treatment with hydrogen peroxide. Orthophosphate in excess of 25 mg/L interferes by precipitating as silver phosphate. Iron in excess of 10 mg/L interferes by masking the end point.

2. Apparatus

- a. *Erlenmeyer flask*, 250-mL.
- b. *Buret*, 50-mL.

3. Reagents

- a. *Potassium chromate indicator solution:* Dissolve 50 g K₂CrO₄ in a little distilled water. Add AgNO₃ solution until a definite red precipitate is formed. Let stand 12 h, filter, and dilute to 1 L with distilled water.
- b. *Standard silver nitrate titrant*, 0.0141M (0.0141N): Dissolve 2.395 g AgNO₃ in distilled water and dilute to 1000 mL. Standardize against NaCl by the procedure described in ¶ 4b below; 1.00 mL = 500 µg Cl⁻. Store in a brown bottle.
- c. *Standard sodium chloride*, 0.0141M (0.0141N): Dissolve 824.0 mg NaCl (dried at 140°C) in distilled water and dilute to 1000 mL; 1.00 mL = 500 µg Cl⁻.
- d. *Special reagents for removal of interference:*
 - 1) *Aluminum hydroxide suspension:* Dissolve 125 g aluminum potassium sulfate or aluminum ammonium sulfate, AlK(SO₄)₂·12H₂O or AlNH₄(SO₄)₂·12H₂O, in 1 L distilled water. Warm to 60°C and add 55 mL conc ammonium hydroxide (NH₄OH) slowly with stirring. Let stand about 1 h, transfer to a large bottle, and wash precipitate by successive additions, with thorough mixing and decanting with distilled water, until free from chloride. When freshly prepared, the suspension occupies a volume of approximately 1 L.
 - 2) *Phenolphthalein indicator solution.*
 - 3) *Sodium hydroxide*, NaOH, 1N.
 - 4) *Sulfuric acid*, H₂SO₄, 1N.
 - 5) *Hydrogen peroxide*, H₂O₂, 30%.

4. Procedure

- a. *Sample preparation:* Use a 100-mL sample or a suitable portion diluted to 100 mL. If the

sample is highly colored, add 3 mL Al(OH)₃ suspension, mix, let settle, and filter. If sulfide, sulfite, or thiosulfate is present, add 1 mL H₂O₂ and stir for 1 min.

b. Titration: Directly titrate samples in the pH range 7 to 10. Adjust sample pH to 7 to 10 with H₂SO₄ or NaOH if it is not in this range. For adjustment, preferably use a pH meter with a non-chloride-type reference electrode. (If only a chloride-type electrode is available, determine amount of acid or alkali needed for adjustment and discard this sample portion. Treat a separate portion with required acid or alkali and continue analysis.) Add 1.0 mL K₂CrO₄ indicator solution. Titrate with standard AgNO₃ titrant to a pinkish yellow end point. Be consistent in end-point recognition. Standardize AgNO₃ titrant and establish reagent blank value by the titration method outlined above. A blank of 0.2 to 0.3 mL is usual.

5. Calculation

$$\text{mg Cl}^{-}/\text{L} = \frac{(A - B) \times N \times 35.450}{\text{mL sample}}$$

where:

A = mL titration for sample,

B = mL titration for blank, and

N = normality of AgNO₃.

mg NaCl/L = (mg Cl⁻/L) × 1.65

SM 5520 B. Partition-Gravimetric Method

1. General Discussion

Dissolved or emulsified oil and grease is extracted from water by intimate contact with an extracting solvent. Some extractables, especially unsaturated fats and fatty acids, oxidize readily; hence, special precautions regarding temperature and solvent vapor displacement are included to minimize this effect. Organic solvents shaken with some samples may form an emulsion that is very difficult to break. This method includes a means for handling such emulsions. Recovery of solvents is discussed. Solvent recovery can reduce both vapor emissions to the atmosphere and costs.

2. Apparatus

- a. *Separatory funnel*, 2-L, with TFE*#(117) stopcock.
- b. *Distilling flask*, 125-mL.
- c. *Liquid funnel*, glass.
- d. *Filter paper*, 11-cm diam.†#(118)
- e. *Centrifuge*, capable of spinning at least four 100-mL glass centrifuge tubes at 2400 rpm or more
- f. *Centrifuge tubes*, 100-mL, glass.
- g. *Water bath*, capable of maintaining 85°C.
- h. *Vacuum pump* or other source of vacuum.
- i. *Distilling adapter* with drip tip. Setup of distillate recovery apparatus is shown in Figure 5520:1. Alternatively, use commercially available solvent recovery equipment.
- j. *Ice bath*.
- k. *Waste receptacle*, for used solvent.
- l. *Desiccator*.

3. Reagents

- a. *Hydrochloric or sulfuric acid*, 1:1: Mix equal volumes of either acid and reagent water.
- b. *n-Hexane*, boiling point 69°C. The solvent should leave no measurable residue on evaporation; distill if necessary. Do not use any plastic tubing to transfer solvent between containers.
- c. *Methyl-tert-butyl ether (MTBE)*, boiling point 55°C to 56°C. The solvent should leave no measurable residue on evaporation; distill if necessary. Do not use any plastic tubing to transfer solvent between containers.
- d. *Sodium sulfate*, Na₂SO₄, anhydrous crystal.
- e. *Solvent mixture*, 80% *n*-hexane/20% MTBE, v/v.

4. Procedure

When a sample is brought into the laboratory, either mark sample bottle at the water meniscus or weigh the bottle, for later determination of sample volume. If sample has not been acidified previously (see Section 5520A.3), acidify with either 1:1 HCl or 1:1 H₂SO₄ to pH 2 or lower (generally, 5 mL is sufficient for 1 L sample). Using liquid funnel, transfer sample to a separatory funnel. Carefully rinse sample bottle with 30 mL extracting solvent (either 100% *n*-hexane, ¶ 3b, or solvent mixture, ¶ 3e) and add solvent washings to separatory funnel.

Shake vigorously for 2 min. Let layers separate. Drain aqueous layer and small amount of organic layer into original sample container. Drain solvent layer through a funnel containing a filter paper and 10 g Na₂SO₄, both of which have been solvent-rinsed, into a clean, tared distilling flask. If a clear solvent layer cannot be obtained and an emulsion of more than about 5 mL exists, drain emulsion and solvent layers into a glass centrifuge tube and centrifuge for 5 min at approximately 2400 rpm. Transfer centrifuged material to an appropriate separatory funnel and drain solvent layer through a funnel with a filter paper and 10 g Na₂SO₄, both of which have been prerinsed, into a clean, tared distilling flask. Recombine aqueous layers and any remaining emulsion or solids in separatory funnel. For samples with <5 mL of emulsion, drain only the clear solvent through a funnel with pre-moistened filter paper and 10 g Na₂SO₄. Recombine aqueous layers and any remaining emulsion or solids in separatory funnel. Extract twice more with 30 mL solvent each time, but first rinse sample container with each solvent portion. Repeat centrifugation step if emulsion persists in subsequent extraction steps. Combine extracts in tared distilling flask, and include in flask a final rinsing of filter and Na₂SO₄ with an additional 10 to 20 mL solvent. Distill solvent from flask in a water bath at 85°C for either solvent system. To maximize solvent recovery, fit distillation flask with a distillation adapter equipped with a drip tip and collect solvent in an ice-bath-cooled receiver (Figure 5520:1). When visible solvent condensation stops, remove flask from water bath. Cover water bath and dry flasks on top of cover, with water bath still at 85°C, for 15 min. Draw air through flask with an applied vacuum for the final 1 min. Cool in desiccator for at least 30 min and weigh. To determine initial sample volume, either fill sample bottle to mark with water and then pour water into a 1-L graduated cylinder, or weigh empty container and cap and calculate the sample volume by difference from the initial weight (assuming a sample density of 1.00).

5. Calculation

If the organic solvent is free of residue, the gain in weight of the tared distilling flask is due to oil and grease. Total gain in weight, *A*, of tared flask, less calculated residue from solvent blank, *B*, is the amount of oil and grease in the sample:

$$\text{mg oil and grease/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{mL sample}}$$

ANEXO N° 2.8: Protocolo para Turbidez, Color, pH y Conductividad

1. Objetivo

Determinar las siguientes propiedades físicas del agua: color, turbidez, pH y conductividad

2. Teoría:

3. Equipos, materiales y reactivos:

3.1. Equipos:

- Espectrofotómetro HACH

3.2. Material:

- Vasos de precipitación

3.3. Reactivos

- Muestras de agua
- Agua destilada

4. Procedimiento:

4.1. Determinación de color:

- Filtre 50 mL de agua destilada y colóquelas en una de las celdas del equipo, hasta la línea de aforo.
- Filtre 50 mL de la muestra de agua y coloquelas en la segunda celda.
- Encienda el equipo, cuando en la pantalla se despliegue método, mediante las teclas numéricas ponga 120 y oprima la tecla *read/enter*, coloque la longitud de onda indicada (455 nm) mediante la perilla que se encuentra en la parte derecha del equipo, y presione *read/enter*.
- Coloque la celda que contiene agua destilada y presione *zero*. Esperar a que en la pantalla se despliegue 0 units pt-co color. Con este paso se logra encerrar el equipo.
- Colocar la celda que contiene la muestra de agua filtrada, presionar *read/enter* y esperar a que se despliegue el valor.

4.2. Determinación de turbidez:

- En una de las celdas del equipo coloque agua destilada.
- En la segunda celda coloque la muestra de agua, previamente agitada por un tiempo de aproximadamente 2 minutos.
- Encienda el equipo y presione *750 read/enter*.
- Utilizando la perilla coloque la longitud de onda indicada y presione *read/enter*.
- Coloque en el equipo la celda con agua destilada y presione *zero*, hasta que el 0 FTU sea desplegado. Con este paso se logra encerrar el equipo.
- Coloque la celda con la muestra y presione *read/enter*, anote el valor desplegado.
- Si el display del equipo titila indicando 2800 FTU, significa que la muestra está más turbia que el rango de apreciación del equipo. En este caso efectuar una dilución de la

muestra problema.

4.3 determinación del pH:

Tomar aproximadamente 200 mL de la muestra de agua en un vaso de precipitación (250 mL), sumergir el electrodo por un lapso de 2 minutos hasta que la lectura se estabilice y leer el valor que muestra el display.

4.4 determinación de conductividad:

Tomar aproximadamente 200 mL de la muestra de agua en un vaso de precipitación (250 mL), sumergir el electrodo del equipo por un lapso de 2 minutos hasta que la lectura se estabilice y leer el valor que muestra el display.

ANEXO N° 2.9: Metodología Aerobios Mesófilos y Anaerobios Mesófilos

Preparación de la muestra.

Asépticamente pesar 10 g. de muestra y diluir en 90 mL de agua peptonada (A-23).

Homogenizar el mezcal por trituración en un vaso esterilizado de licuadora a una velocidad aproximada de 14.000 rpm y en un tiempo medio de 60-90 segundos.

Diluciones.

Según el número de gérmenes esperado y sobre la base de la solución inicial de 10 g. en 90 mL. (Dilución 10^{-1}), preparar diluciones decimales de 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , usando pipetas estériles para cada dilución, tomando 1 mL de la solución anterior en 9 mL de agua peptonada (fig. 1), evitando se forme espuma. Mezclar manualmente cada dilución agitándola 25 veces en 7 segundos con movimientos ascendentes y descendentes formando un ángulo de abertura aproximado de 60° entre brazo y antebrazo.

Técnica.

1. Asépticamente pipetear 1 mL. de cada dilución y sembrar por duplicado en placa Petri previamente identificada. Volver a mezclar la dilución a usar, si ésta ha permanecido más de 3 minutos sin agitar.
2. Agregar a cada una de las placas 12-15 mL. de agar de recuento en placa (A-21) previamente fundido a baño maría y enfriado a $44-46^\circ\text{C}$. No deberá transcurrir un tiempo mayor de 15 minutos entre la dilución de la muestra y la siembra en placas.
3. Inmediatamente mezclar la muestra diluida y el agar mediante agitación manual suave (movimientos circulares), durante un lapso igual o superior a un minuto, evitando mojar los bordes de la placa; dejar enfriar sobre una superficie plana y horizontal.
4. Una vez solidificado el agar, invertir las placas de Petri e incubar a 35°C por 48 ± 2 hr.
5. Para realizar el conteo, se escogen las placas que presenten entre 30 y 300 colonias, y se

utiliza una caja de recuento de colonias; se pone la placa de Petri abierta con la superficie de vidrio hacia arriba y, si es preciso, se divide en sectores marcando mediante un lápiz graso a lo largo de los diámetros.

6. El cálculo del vapor promedio del número de unidades formadoras de colonias por gramo de muestra se efectúa multiplicando el número de colonias contadas en cada dilución de las placas seleccionadas (valor C), por el factor de dilución correspondiente (valor D).
7. La diferencia entre los resultados extremos de la determinación efectuada por duplicado, no deberá exceder del 10% de la media aritmética de los 2 resultados; en caso contrario, debe repetirse el examen.
8. Obtener el valor del recuento total de gérmenes expresado de la siguiente manera:

$$N = C \times D$$

Dónde: N= Unidades formadoras de colonia por gramo de muestra.

C= Número de colonias.

D= Factor de dilución.

ANEXO N° 2.10: Metodología de recuento de Mohos y Levaduras

m-Caldo para hongos y levaduras (m-Green yeast and mold broth).

Medio de cultivo recomendado para la investigación de hongos y levaduras en el análisis de rutina de bebidas, por la técnica de filtración por membrana.

Fundamento

El medio de cultivo contiene un alto poder nutritivo, pero el desarrollo bacteriano está inhibido debido al pH ácido. El verde de bromocresol es el indicador de pH que facilita la visualización y el recuento de las colonias de hongos, las cuales son verdes debido a la difusión del indicador a la colonia (reacción alcalina). Los productos finales del metabolismo microbiano, difunden en el medio, disminuyen el pH y producen un viraje del indicador del color verde al amarillo (reacción ácida).

Fórmula (en gramos por litro)		Instrucciones
Extracto de levadura	9.0	Suspender 73 g del polvo en un litro de agua destilada. Dejar reposar 5 minutos y mezclar hasta uniformar. Una vez disuelto, distribuir y esterilizar en autoclave durante 10 minutos a 118 °C.
Glucosa	50.0	
Tripteína	5.0	
Peptona de carne	5.0	
Sulfato de magnesio	2.1	
Fosfato monopotásico	2.0	

Diastasa	0.05	
Tiamina	0.05	
Verde de bromocresol	0.026	
pH final: 4.6 ± 0.2		

Siembra

1-Embeber una almohadilla estéril en placa de Petri estéril con 2.0-2.5 mL de m-Caldo para hongos y levaduras.

2-Filtrar por membrana la muestra a analizar.

3-Colocar la membrana sobre la almohadilla.

Incubación

Incubar las placas 30-35 °C, durante 48 horas, en aerobiosis.

Resultados

Las colonias de hongos son verdes y generalmente filamentosas.

Las colonias de levaduras son verdes y opacas.

Microorganismos	Crecimiento
<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	Bueno
<i>Aspergillus niger</i>	Bueno

Características del medio

Medio preparado: verde claro.

Almacenamiento:

Medio deshidratado: a 10-35 °C.

Medio preparado: a 2-8 °C.

Presentación	
x 100g :Código: B02-203-05	x 500g :Código: B02-203-06

ANEXO N° 2.11: Metodología de recuento Bacilos Formadores de Endoesporas

BD Fluid Thioglycollate Medium (FTM)

Principios y Explicación Del Procedimiento

Método microbiológico.

El medio líquido de tioglicolato fue diseñado por Brewer para el cultivo rápido tanto de anaerobios como aerobios. La incorporación de peptona en caseína fue introducida por Vera en 1942. Este medio favorece un buen crecimiento de una amplia variedad de organismos, incluidos los anaerobios estrictos, sin incubación en una atmósfera anaerobia.

Debido a su bajo potencial de oxidación –reducción, BD Fluid Thioglycollate Medium no es el medio preferente para aerobios estrictos, tales como los no fermentadores, *Micrococcus* y organismos similares. Para dichos organismos se debe utilizar el caldo de soja trípica o caldo de infusión de cerebro y corazón. En BD Fluid Thioglycollate Medium, la glucosa, la peptona y el extracto de levadura proporcionan los factores de crecimiento necesarios para el crecimiento bacteriano. El tioglicolato sódico y la L-cistina son agentes reductores que previenen la acumulación de peróxidos, que son letales para algunos microorganismos. La resazurina es un indicador de oxidación-reducción: presenta un color rosa con la muestra oxidada y es incolora cuando está reducida. La pequeña cantidad de agar ayuda al mantenimiento de un bajo potencial de oxidación-reducción, al estabilizar el medio contra las corrientes de convección, por lo que mantiene la anaerobiosis a mayores profundidades del medio.

- Debido a su contenido de agar, el medio líquido de tioglicolato parece ligeramente opaco.
- El medio listo para usar descrito en este documento se llena bajo una corriente de nitrógeno gaseoso, lo que causa una decoloración del indicador de resazurina.
- No obstante, el medio se puede utilizar hasta que se haya oxidado aproximadamente el 30% del mismo (capa superior), tal como lo indica el color rosa de la resazurina cerca de la superficie. Si prosigue la oxidación, el caldo puede recalentarse una vez al vapor o agua en ebullición, enfriarse y utilizarse.
- La USP permite la presencia de agua en la glucosa (dextrosa) y por tanto presenta 5,5 gramos de dicho elemento en la fórmula. Para evitar la presencia de humedad, incrementa

ANEXO N° 2.12: Metodología de recuento *Pseudomonas*

Pseudomonas agar F.

Medio de cultivo utilizado para el aislamiento, la detección y la diferenciación de especies de *Pseudomonas* spp. en base a la producción de fluoresceína. Conocido también como medio King B.

Fundamento

En el medio de cultivo, la tripteína y la peptona de carne aportan los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano, la glicerina favorece la producción de pigmentos, la concentración de fosfatos estimula la producción de fluoresceína e inhibe la producción de piocianina y piorrubina.

Fórmula (en gramos por litro)		Instrucciones
Tripteína	10.0	Suspender 38 g del polvo en un litro de agua destilada. Agregar 10 mL de glicerina. Calentar con agitación constante para homogeneizar el producto. Llevar a ebullición para que se disuelva por completo. Distribuir y esterilizar 15 minutos a 121 °C.
Peptona de carne	10.0	
Fosfato dipotásico	1.5	
Sulfato de magnesio	1.5	
Agar	15.0	
pH final: 7.2 ± 0.2		

Siembra

A partir de un cultivo puro de 18-24 horas, del cual se sospeche la presencia de *Pseudomonas* spp., tomar una colonia y estriar la superficie del medio.

Incubación

Durante 18-24 horas a 35-37 °C, en aerobiosis. Si no se observa crecimiento, reincubar a 25-30 °C, o dejar a 22 °C y observar diariamente hasta 7 días.

Resultados

Examinar las colonias bajo luz ultravioleta, a 260 nm. Se considera un resultado positivo la observación de fluoresceína, que es un pigmento de color amarillo, amarillo-verdoso fluorescente que rodea la colonia o que se extiende por todo el medio de cultivo debido a fenómenos de difusión.

Cepa	Crecimiento	Producción de Fluoresceína	Producción de Piocianina
<i>P. aeruginosa</i>	Bueno	+	+

<i>P. fluorescens</i>	Bueno	+	-
<i>P. putida</i>	Bueno	+	-
<i>P. mallei</i>	Bueno	-	-
<i>P. stutzeri</i>	Bueno	-	-
<i>S. maltophilia</i>	Bueno	-	-
<i>B. cepacia</i>	Bueno	-	-
<i>Escherichia coli</i>	Bueno	-	-

Limitaciones

Algunas cepas de *P. fluorescens* y *P. putida* solo producen fluoresceína a temperatura ambiente, y se pueden obtener resultados falsos negativos si el medio se incuba a 30-35 °C, por eso, ante la ausencia de crecimiento luego de incubación a 35-37 °C, se recomienda dejar los tubos conteniendo el medio de cultivo a temperatura ambiente.

Características del medio

Medio preparado color blanco-amarillo transparente

Almacenamiento:

Medio deshidratado: a 10-35 °C.

Medio preparado: a 2-8 °C.

Presentación	
x 100g :Código: B02-211-05	x 500g :Código: B02-211-06

ANEXO N°. 3: Tablas de resultados

ANEXO N°3.1: Resultado de la Caracterización Inicial, tabla extendida

Parámetros	Unid.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
DQO	mg/L	4621,8	2643,1	4320	2947,4	2947,4	1381	3523,8	4047,6	1571,4	2480	1463	1268	1135	1838	3135
DBO	mg/L	409	415	435	403	348	450	468	515	504	440	419	465	520	541	518
ST	mg/mL	0,0014	0,0038	0,0008	0,0004	0,0008	0,0011	0,0012	0,0013	0,0010	0,0011	0,0050	0,0031	0,0021	0,0022	0,0029
SS	mg/mL	0,0002	0,0033	0,0006	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0005	0,0003	0,0000	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002
SF	mg/mL	0,0012	0,0005	0,0002	0,0003	0,0006	0,0010	0,0011	0,0011	0,0008	0,0008	0,0049	0,0030	0,0019	0,0020	0,0027
Ssed	Mg/L	1,9	0,04	0,01	0,005	0,005	0,9	0,5	0,4	1,8	31	1,4	0,8	0,2	0,3	0,2
Sulf	mg/L	4	2	4	1	1	0	3	6	2	9	18	14	2	4	6
N-NH3	mg/L	0,204	0,279	0,385	0,18	0,455	0,195	0,156	0,202	0,211	0,271	0,14	0,131	0,174	0,482	0,284
Ph		6,65	6,11	6,63	5,65	6,73	6,19	6,11	6,09	6,26	6,28	6,23	6,19	6,24	5,59	5,78
Conductividad	µS/cm	2079	1458	507	1169	720	1505	1708	1823	1775	1750	3990	2540	2150	4900	6500
Turbidez Dil. 5:100	Fau	440	300	300	700	280	1340	320	480	420	560	200	140	400	120	180
		22	15	15	35	14	67	16	24	21	28	10	7	20	6	9
Color Dil. 5:100	Pt-C0	3000	2640	2360	1600	1200	9080	2340	3800	3580	3520	1120	1080	2840	940	1020
		150	132	118	80	60	454	117	190	179	176	56	54	142	47	51

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

ANEXO N°3.2: Resultado de la Caracterización Final, tabla extendida

Parámetros	Unid.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15
DQO	mg/l	248	234	326	243	202	348	209	127	103	100	144	139	356	160	218
DBO	mg/l	113	206	145	180	129	133	126	205	116	147	120	114	105	152	191
ST	mg/mL	0,0006	0,0003	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0005	0,0001	0,0001	0,0005	0,0004	0,0003
SS	mg/mL	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000
SF	mg/mL	0,0006	0,0002	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0005	0,0000	0,0001	0,0004	0,0004	0,0003
Ssed	mL	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01
Sulf	mg/l	3	3	0	1	1	1	1	3	1	3	2	1	1	1	1
N-NH3	mg/l	0,147	0,12	0,038	0,032	0,04	0,076	0,084	0,033	0,012	0,096	0,02	0,025	0,028	0,036	0,043
pH		6,91	6,66	6,01	6,7	6,3	6,37	6,47	6,21	6,21	6,28	5,74	6,35	6,07	6,09	6,25
Conductividad In	□S/cm	2279	1797	1517	1230	1132	1046	1089	1263	1261	1297	1091	1332	1228	1120	1126
Turbidez	Fau	320	260	260	140	80	200	100	100	40	100	80	60	40	120	60
		16	13	13	7	4	10	5	5	2	5	4	3	2	6	3
Color	Pt-C0	1560	600	1080	560	500	1140	820	460	180	600	620	540	700	840	640
		78	30	54	28	25	57	41	23	9	30	31	27	35	42	32

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

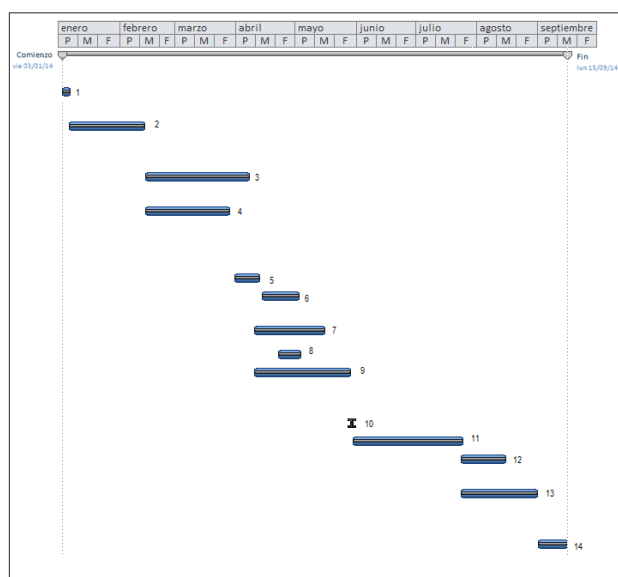
ANEXO N°. 4: Planificación del proyecto

ANEXO N°4.1: Tabla de la planificación de la tesis acorde a las actividades realizadas.

PLANIFICACIÓN DE TESIS				
No. Tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
1	Aprobación de tema y título	2 días	vie 03/01/14	lun 06/01/14
2	Recopilación bibliográfica del reactor UASB	29 días	lun 06/01/14	jue 13/02/14
3	Aprobación del plan de tesis	37 días	vie 14/02/14	lun 07/04/14
4	Recopilación bibliográfica del diseño de reactor UASB y parámetros ambientales	31 días	vie 14/02/14	vie 28/03/14
5	Diseño del reactor UASB	11 días	lun 31/03/14	sáb 12/04/14
6	Construcción del reactor UASB	15 días	lun 14/04/14	vie 02/05/14
7	Muestreo y caracterización inicial del agua	26 días	jue 10/04/14	jue 15/05/14
8	Ensamble del reactor	10 días	mar 22/04/14	sáb 03/05/14
9	Redacción del documento y análisis de datos	35 días	jue 10/04/14	mié 28/05/14
10	Pre defensa	1 día	jue 29/05/14	jue 29/05/14
11	Arranque del reactor	40 días	vie 30/05/14	jue 24/07/14
12	Caracterización final del agua	17 días	jue 24/07/14	vie 15/08/14
13	Redacción del documento y análisis de resultados	28 días	jue 24/07/14	dom 31/08/14
14	Presentación del documento final	11 días	lun 01/09/14	lun 15/09/14
Total		182 días	Del 03/01/14 al 01/09/14	

Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

ANEXO N°4.2: Esquema del Cronograma de Actividades



Elaborado: Erazo & Salvador, 2014

ANEXO N°. 5: Imágenes del Reactor

Todas las imágenes fueron elaboradas por: Erazo & Salvador, 2014

Imágenes Muestreo



Imágenes de los Análisis y Equipos

Titulación del DQO Equipo HACH



Multiparámetros



Muflas



Incubadoras



Imágenes del Reactor UASB SE-K01

Campana GSL



Deflectores



Lodo inicial



Lodo activado



Ensamblado del sistema PID



Caja del Sis. PID Display PID



Tanque de Almacenamiento Bomba Peristáltica



Soporte



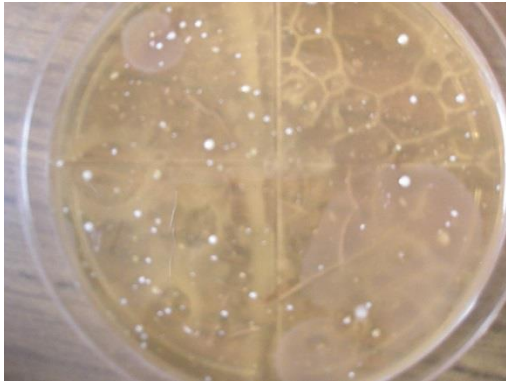
Perforaciones para los ensamble



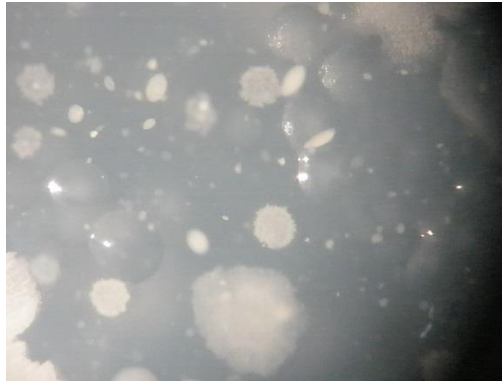
Reactor UASB SE-K01



ANEXO N°. 6: Imágenes del de Resultados Microbiológicos



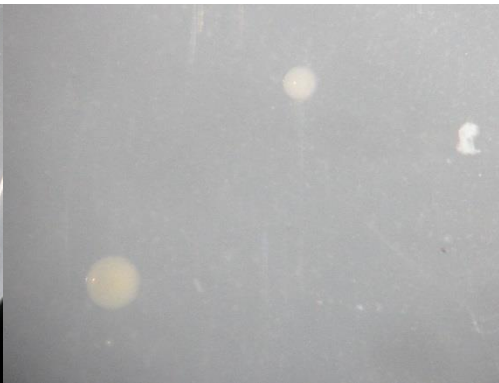
Bacterias Ácido Lácticas (MYP Agar)



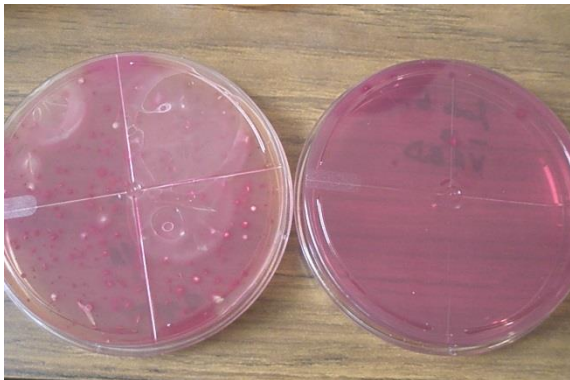
Bacilos formadores de endoesporas (Agar para anaerobios con Thioglicolato)



Enterobacterias (PCA)



Enterobacterias (PCA)



Pseudomonas (Agar King A y Agar King B)



Bacterias anaerobias mesófilas (Agar PDA)



Lodo microbiano y Diluciones