

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES
Y SANITARIA



**“TRATAMIENTO INTEGRAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL
MATADERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MOYOBAMBA
EN UN BIORREACTOR ANAERÓBICO
TIPO UASB A NIVEL PILOTO”**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO**

Autor:

Bach. ROHAN JESÚS PANDURO ALIAGA.

Asesor:

Blgo. M.Sc. LUIS EDUARDO RODRÍGUEZ PÉREZ.

N° de Registro: 06051016

MOYOBAMBA - PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES
Y SANITARIA



**“TRATAMIENTO INTEGRAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL
MATADERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MOYOBAMBA
EN UN BIORREACTOR ANAERÓBICO
TIPO UASB A NIVEL PILOTO”**

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO

Autor:

Bach. ROHAN JESÚS PANDURO ALIAGA

Asesor:

Blgo. M.Sc. LUIS EDUARDO RODRÍGUEZ PÉREZ

N° de Registro: 06051016

MOYOBAMBA - PERÚ

2017



ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-T sede Moyobamba y siendo las nueve de la mañana del día martes 18 de Abril del dos mil diecisiete, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

Blgo. M.Sc. ASTRIHT RUIZ RÍOS	PRESIDENTE
Ing. M.Sc. MIRTHA FELICITA VALVERDE VERA	SECRETARIO
Ing. GERARDO CÀCERES BARDALEZ.	MIEMBRO
Blgo. M.Sc. LUIS EDUARDO RODRÍGUEZ PÉREZ	ASESOR

Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado "TRATAMIENTO INTEGRAL DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL MATADERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MOYOBAMBA EN UN BIORREACTOR ANAERÓBICO TIPO UASB A NIVEL PILOTO"; presentado por el Bachiller en Ingeniería Sanitaria ROHAN JESÚS PANDURO ALIAGA, según Resolución de Comisión Organizadora N° 078-2016-UNSM-T-FE-CO de fecha 21 de Abril del 2016.

Los señores miembros del Jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran: **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de: **BUENO** y nota **QUINCE (15)**.

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 10:30 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.

Blgo. M.Sc. ASTRIHT RUIZ RÍOS
Presidente

Ing. M.Sc. MIRTHA FELICITA VALVERDE VERA
Secretario

Ing. GERARDO CÀCERES BARDALEZ
Miembro

Blgo. M.Sc. LUIS EDUARDO RODRÍGUEZ PÉREZ
Asesor

DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo:

A Dios, que es fuente de todo bien, por permitirme el suficiente entendimiento para llegar a este punto de mi vida, por concederme salud para disfrutar estos momentos especiales, conciencia para poder discernir lo bueno que he recibido y fortaleza para terminar este proyecto de investigación.

A mis padres: Sr. Rohan Genix Panduro Córdova y Sra. Jany Aliaga Marina. Quienes son luchadores en esta vida a pesar de las circunstancias, quienes compartieron conmigo las enseñanzas de la vida; sembrando en mí valores y virtudes que me llevaron a alcanzar las metas trazadas en mi vida.

A Jhon, Kariny, Carmen, Jany y Jhonatan, mis hermanos, quienes con sus consejos me llevaron a alcanzar mi meta trazada. Y vean que en esta vida con esfuerzo y dedicación se logra los objetivos.

A Vivian, Ariana, Daniela, Taylor y Gustavo, mis sobrinos y alegría de mi familia, por formar parte de mi vida y quienes se convirtieron en un motivo más para no desistir en mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer infinitamente:

A Dios por brindarme la vida y estar siempre en mi corazón, por permitirme disfrutar cada momento que me regala y guiarme siempre por el camino que ha trazado para mí vida.

A mis padres, por darme la vida, corregir mis pasos, y apoyarme en todo lo que me he propuesto.

A la señora Jany Aliaga Marina, mi madre, a quien agradezco porque siempre ha estado conmigo, sembrando amor en mi vida, y enseñándome a luchar y perseverar en esta vida por los sueños planteados.

Al señor Rohan Genix Panduro Córdova, mi padre, quien siempre ha estado de mi lado enseñándome las cosas de la vida, sembrando en mí el deseo de superación, inculcando en mí el trabajo y el esfuerzo para lograr las metas propuesta.

A mis hermanos Jhon Fernando, Kariny Mariol, Carmen Rosa Marina, Jany Janeth y Jhonatan Manuel, saben que son todo para mí y que todos juntos forman uno de mis motores que impulsan a ser mejor cada día.

A mis sobrinos Vivian Fernanda, Sídney Ariana, Daniela Mariol, Christofer Taylor y Gustavo Alberto, quienes se convirtieron en esa chispa que traen alegría al hogar.

A Susan Grace, mi enamorada, por compartir cada momento juntos, por apoyarme cada día, y dándome aliento para alcanzar mis sueños.

Al Blgo M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez, quien me apoyo en cada momento, brindando su tiempo, paciencia y dedicación a esta investigación, compartiendo conmigo su experiencia y conocimientos, a quien expreso y me muestro muy agradecido.

A los trabajadores del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, al Sr. M. V. Luis Ángel Quintana Montalvo administrador, quien me permitió el ingreso a su establecimiento y brindándome todas las facilidades para la implementación de la planta piloto; al Sr. Miguel Olortegui Lavajos trabajador, quien fue la pieza clave para dar operatividad a la planta piloto, apoyándome en todo momento.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO I: El problema de Investigación	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Fundamentación teórica	4
1.3.1. Antecedentes de la investigación	4
1.3.2. Bases teóricas	7
1.3.3. Definición de términos	27
1.4. Variables	31
1.5. Hipótesis	31
CAPÍTULO II: Marco Metodológico	32
2.1. Tipo de investigación	32
2.2. Diseño de la investigación	32
2.3. Población y muestra	34
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	45
CAPÍTULO III: Resultados	46
3.1. Resultados	46
3.2. Discusiones	70
3.3. Conclusiones	75
3.4. Recomendaciones	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

ANEXOS	81
---------------	-----------

ÍNDICE DE IMAGEN:

IMAGEN 01: Representación esquemática del metabolismo bacteriano.	8
IMAGEN 02: Etapas de la digestión anaerobia.	13
IMAGEN 03: Proceso de sulfato reducción en la degradación de la materia orgánica.	14
IMAGEN 04: Diagrama metodológico.	32
IMAGEN 05: Esquema de la campana separadora Gas-Líquido-Sólido.	39
IMAGEN 06: Resultados del diseño del UASB.	51
IMAGEN 07: Resultados del dimensionamiento de la campana separadora de GLS.	55

ÍNDICE DE FIGURA:

FIGURA 01: Esquema general del proceso de Hidrolisis.	10
FIGURA 02: Esquema general del proceso de Acidogénesis.	11
FIGURA 03: Esquema general del proceso de Acetogénesis.	11
FIGURA 04: Esquema general del proceso de Metanogénesis.	12
FIGURA 05: Reducción biológica del sulfato.	13
FIGURA 06: Esquema general de un biorreactor tipo UASB.	22

ÍNDICE DE TABLAS:

TABLA 01: Valores característicos de los vertidos de un matadero (sin depuración).	7
TABLA 02: Intervalo de temperatura en la que trabajan las bacterias anaerobias.	19
TABLA 03: Parámetros de diseño.	48
TABLA 04: Variación del pH y Temperatura durante el proceso de arranque.	58
TABLA 05: Producción de Biosol.	65
TABLA 06: Producción de Biosol en estado sólido.	65
TABLA 07: Valores de media y desviación estándar de DBO₅ en el UASB.	67
TABLA 08: Valores de media y desviación estándar de DQO en el UASB.	68

ÍNDICE DE CUADROS:

CUADRO 01: Ejemplos de dosificación de Biol.	26
CUADRO 02: Método de ensayo.	34
CUADRO 03: Métodos de ensayo.	44
CUADRO 04: Resultado de laboratorio, caracterización de las aguas residuales.	46 50
CUADRO 05: Resultados del dimensionamiento del UASB.	55
CUADRO 06: Resultados del dimensionamiento de la campana separadora de GLS.	56
CUADRO 07: Condiciones iniciales del arranque del UASB.	63
CUADRO 08: Contrastación de los resultados con la normatividad vigente.	

ÍNDICE DE GRÁFICOS:

GRÁFICO 01: Variación del pH post tratamiento - Etapa de arranque.	57
GRÁFICO 02: Variación de la Temperatura post tratamiento - Etapa de arranque.	58
GRÁFICO 03: Variación del pH post tratamiento - Etapa de monitoreo.	59
GRÁFICO 04: Variación de la Temperatura post tratamiento - Etapa de monitoreo.	59
GRÁFICO 05: Variación de la DBO₅ - Pre y post tratamiento.	60
GRÁFICO 06: Porcentaje de eficiencia de la remoción de la DBO₅ - tapa de monitoreo.	61
GRÁFICO 07: Variación de la DQO - Pre y post tratamiento.	61
GRÁFICO 08: Porcentaje de eficiencia de la remoción de la DQO.	62
GRÁFICO 09: Concentración de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el Biol.	64
GRÁFICO 10: Concentración de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el Biosol.	65

ÍNDICE DE FOTOS:

FOTO 01: Acondicionamiento del área y construcción de plataforma para el tanque elevado.	
FOTO 02: Materiales para la construcción del UASB.	
FOTO 03: Adaptación del embudo de PVC, como campana separadora GLS.	
FOTO 04: Resultado de la construcción del UASB y su instalación en la planta	

piloto.

FOTO 05: Vista final de la planta piloto,

FOTO 06: Materiales empleados para dar el inicio del arranque del UASB.

FOTO 07: Proceso de llenado de la cámara de almacenamiento, con biogás producido.

FOTO 08: Prueba de combustión de biogás obtenido.

FOTO 09: Proceso de toma de muestras.

ANEXOS

ANEXO 01: Registro del monitoreo de pH y Temperatura (°C). Etapa de arranque.

ANEXO 02: Registro del monitoreo de pH y Temperatura (°C). Etapa de monitoreo.

ANEXO 03: Valores Máximos Admisibles para Aguas Residuales.

ANEXO 04: Valores Máximos Admisibles para Aguas Residuales.

ANEXO 05: Teoría y consolidado de la prueba Distribución t-Student.

ANEXO 06: Prueba estadística de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

ANEXO 07: Prueba estadística de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

ANEXO 08: plano constructivo del UASB.

ANEXO 09: Resultados de laboratorio - Caracterización de las aguas residuales.

ANEXO 10: Resultados laboratorio - Monitoreo Mes 01.

ANEXO 11: Resultados laboratorio - Monitoreo Mes 02.

ANEXO 12: Resultados Laboratorio - Monitoreo Mes 03.

ANEXO 13: Resultados laboratorio - Determinación de NPK en Lodos.

ANEXO 14: Resultados laboratorio - Determinación de NPK en Efluente.

ANEXO 15: Acondicionamiento del área, para la construcción de la Planta piloto.

ANEXO 16: Materiales empleados para la construcción del UASB.

ANEXO 17: Construcción de la campana separadora Gas-Líquido-Sólido.

ANEXO 18: Vista de planta - Construcción del UASB.

ANEXO 19: Vista final de la construcción de la Planta Piloto.

ANEXO 20: Materiales utilizados para el proceso de arranque del UASB.

ANEXO 21: Proceso de acumulación de Biogás.

ANEXO 22: Prueba de Combustión de Biogás.

ANEXO 23: Toma de muestras.

RESUMEN

El vertimiento de aguas residuales sin un tratamiento previo al medio ambiente, se vuelve un panorama común en nuestro país. Por tal motivo el tratamiento de aguas residuales se hace cada día más importante no solo con la finalidad de reducir la carga contaminante de las aguas, si no el de emplear nuevas tecnologías que nos permitan obtener sub productos propios de procesos de depuración de aguas que sean económicamente aprovechables, generando una nueva perspectiva que mediante el tratamiento integral de aguas residuales es posible generar ingresos.

El presente trabajo abordo el estudio sobre el tratamiento integral de las aguas residuales industriales de matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, mediante el empleo de un Biorreactor tipo UASB a escala piloto, el cual fue diseñado, construido y puesto en marcha. El biorreactor se diseñó en base a una carga orgánica de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 5 000mgO₂/L, con un Tiempo de retención Hidráulica (TRH) de 0,8 Días. Se busca dar un tratamiento integral a las aguas resídales mediante la estabilización de la materia orgánica, generando Biol y Biosol, así como de Biogás el cual se convierte en energía renovable de aprovechamiento.

El arranque del UASB se prolongó por un tiempo de 48 días, para la inoculación del biorreactor se empleó rumen obtenido del estómago de ganado vacuno sacrificados, con una concentración de 1:5 agua residual-rumen, adicionando 10gr de levadura de pan por cada litro de inculo; se elaboró 14 Litros de inculo, el cual corresponde al 25% del volumen total del Biorreactor. El tiempo de arranque tuvo una duración de 48 días, durante este tiempo se monitorearon los valores de pH y Temperatura, se registró una temperatura promedio de 29,9°C y un pH cercano al neutro con un valor promedio de 6,97. El periodo de monitoreo del UASB fue de 90 días, durante este tiempo se monitoreo el comportamiento de Temperatura y pH, registrando un valor promedio de 29,7°C y 6,50 correspondientemente. Se realizaron 3 muestreos cada 30 días, donde se registraron el % de remoción de la materia orgánica. Los resultados en la remoción de DBO₅ es de 73,91% y de la DQO en 75,98%.

Palabras Claves: UASB, aguas residuales, DBO₅, DQO, Biosol, Biogás y Biol.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

CENTRO DE IDIOMAS



ABSTRACT

The wastewater dumping without treatment prior to the environment, becomes a common scenario in our country. For this reason the treatment of wastewater is becoming more important not only with the purpose of reducing the pollutant load of the waters, but of using new technologies that allow us to obtain sub products of water purification processes that are Economically profitable, generating a new perspective that through the integral treatment of waste water is possible to generate income.

The present work approaches the study on the integral treatment of the industrial waste water of municipal slaughterhouse of Moyobamba city, by means of the use of a Bioreactor type UASB to pilot scale, which was designed, constructed and put into operation. The bioreactor was designed based on an organic load of Chemical Oxygen Demand (DQO) of 5 000mgO₂/L, with a hydraulic retention time (HRT) of 0,8 days. It seeks to provide a comprehensive treatment of waste water through the stabilization of organic matter, generating Biol, Biosol, as well as Biogas which becomes renewable energy exploitation.

The starting of the UASB lasted for a period of 48 days, for the inoculation of the bioreactor employment rumen obtained from cattle slaughtered stomach, with a concentration of residual water 1:5-rumen, adding 10gr of leaven of bread for every liter of inoculum; produced 14 liters of inoculum, which corresponds to 25% of the total volume of the bioreactor. Boot time had a duration of 48 days, during this time were monitored values of pH and temperature, there was an average temperature of 29,9°C and a pH near neutral with an average value of 6,97. The UASB monitoring period was 90 days, during this time, monitoring the behavior of pH and temperature, registering an average value of 29,7°C and 6,50 accordingly. 3 samplings were carried out every 30 days, which recorded the percentage (%) of removal of organic matter. The results in the removal of DBO₅ is of 73,91% and 75,98% in DQO.

Key words: UASB, wastewater, DBO₅, DQO, Biol, Biosol, Biogas.

JR. PROLONGACIÓN 20 DE ABRIL S/N – TELEF- 042-562458
MOYOBAMBA - PERU

CAPÍTULO I.

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.1. Planteamiento del Problema.

El agua es un recurso natural indispensable e importante para todo tipo de organismo vivo que pueda existir en la tierra; durante el último siglo, el crecimiento constante de la población y la industrialización han provocado la degradación de diversos ecosistemas en los que se basa la vida humana. En el caso de los océanos y la calidad de los ríos, este tipo de contaminación es causada principalmente por el vertido de aguas residuales industriales y municipales inadecuadamente tratados (Chen et al., 2 009).

Dentro de los diferentes tipos de actividades industriales, se considera a la industria alimentaria, sobre todo las plantas de beneficio (Mataderos, camales, entre otros), como una de las principales actividades económicas con un alto potencial contaminante, debido a que sus descargas se caracterizan principalmente por tener un elevado volumen de vertimientos líquidos con cargas orgánicas elevadas, grasas, proteínas, sólidos suspendidos, además sus residuos líquidos están constituidos por coliformes fecales; así como también de efluentes con cargas inorgánicas, propias de los compuestos de productos empleados para el proceso de limpieza y desinfección de pisos, establecimiento, corrales, equipos, entre otros.

En el Perú no todos los establecimientos de Beneficio (Mataderos) cuentan con un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, tampoco existe un adecuado control y monitoreo interno de la calidad de sus efluentes que les permita determinar si están cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles (LMP) según la normativa. Una de las principales causas es el poco interés que muestran los establecimientos y sus administradores para dar tratamiento a sus aguas residuales, por el motivo de que en nuestro país no existen diversos tipos de estudios que permitan determinar la eficiencia de tecnologías convencionales y no convencionales para tratar aguas residuales de mataderos, que se conviertan en alternativas para que estas industrias puedan seleccionar y emplear en sus

infraestructuras, para así dar tratamiento a sus efluentes y de esta manera contribuir a la conservación del medio ambiente y los ecosistemas.

La ciudad de Moyobamba, no es ajena a este problema, ya que las aguas residuales producidas en el matadero municipal como procesos del faenado de ganado vacuno y porcino, son vertidas directamente a un flujo de agua ubicada en la parte posterior del local, sin recibir un tratamiento preliminar, ocasionando así cambios en sus características físicas, químicas y biológicas y como consecuencia alterando la calidad del flujo de agua. Así mismo en la parte posterior del matadero, en donde se realiza la desembocadura del efluente existe la presencia de vectores, como son los gallinazos, roedores, garzas, entre otros animales. Los cuales se convierten en un problema de Salud Pública, poniendo en riesgo la salud de la población que habita alrededor del local y alterando la calidad del ecosistema.

El adecuado funcionamiento de un Biodigestor tipo UASB se convierte en una alternativa de solución para dar tratamiento integral a las aguas residuales del matadero municipal, cuyo adecuado funcionamiento nos permitiría obtener:

1. Residuos orgánicos estabilizados que pueden usarse como mejorador de suelos y/o fertilizante orgánico (Biosol).
2. Un efluente con nutrientes para uso de regadío agrícola o para favorecer el crecimiento de biomasa de algas y subproductos (Biol).
3. Una mezcla gaseosa que se puede utilizarse como combustible, para uso doméstico, industrial o agrícola (Biogás).
4. Condiciones sanitarias y ecológicas de mejor calidad.

En ese sentido considerando la situación del manejo de las aguas residuales de matadero municipal, y mediante la implementación de una planta piloto tipo UASB para tratar de manera integral las aguas residuales, planteamos la siguiente interrogante:

¿En qué medida pueden ser tratadas de manera integral las aguas residuales del matadero Municipal de la ciudad de Moyobamba en un biorreactor tipo UASB a nivel piloto?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

- ✓ Dar tratamiento de manera integral a las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba en un biorreactor anaeróbico tipo UASB a nivel piloto – 2016.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Dimensionar un biorreactor tipo UASB para el tratamiento de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba a nivel piloto.
- ✓ Determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), según Límites Máximos Permisibles (LMP).
- ✓ Determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO), según Límites Máximos Permisibles (LMP).
- ✓ Obtener abonos orgánicos (biosol y biol) así como de energía renovable (biogás), a partir del tratamiento integral de las aguas residuales del matadero municipal.

1.3. Fundamentación teórica.

1.3.1. Antecedentes de la investigación.

1.3.1.1. Internacional

Bermúdez, Rodríguez y Martínez (2 003). En su trabajo de investigación “*Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás*”, concluye que:

El empleo de reactores de segunda generación (UASB) para el tratamiento de estos residuos se justifica por los grandes volúmenes de aguas residuales generados, las cargas orgánicas superiores a los 1 000 mg DQO/L y la necesidad de obtener mayores valores de remoción de la contaminación.

El empleo de estos reactores posibilita eficiencias de obtención de biogás por encima del m³/m³ de digestor, obteniendo valores de metano en su composición por encima del 70%, lo cual habla a favor de la calidad del biogás obtenido y de su empleo en usos más específicos, ya sea combustible para cocción de alimentos o funcionamiento de grupos electrógenos para alumbrado.

Arango y Sánchez (2 009). En su trabajo de investigación “*Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB*”, concluye que:

Al aumentar la velocidad de carga orgánica del afluente de 1,7 a 18,5g de DQO/L. hubo un incremento en la producción de biogás de 0,66 a 5,56L biogás/L reactor, aunque en la composición del biogás se disminuyó la proporción de metano y se incrementó la de dióxido de carbono. En la etapa en que se alcanzó un 98% de eliminación de materia orgánica hubo una producción de 4,67L de biogás/L de reactor, siendo su composición en metano y dióxido de carbono de 56% y 43% respectivamente.

Los reactores UASB son un sistema muy apropiado para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales con alta carga de materia orgánica, tales

como los sueros de queserías, ya que permiten obtener eficiencias de remoción de DBO/DQO, superiores al 90% con velocidades de carga orgánica de alrededor de 10 a 20g DQO/L día, ofreciendo otras ventajas como poco requerimiento de espacio, baja producción de lodos, bajo consumo de energía y bajos costos de operación.

Caicedo (2 006). En su trabajo de investigación: “*Diseño, construcción y arranque de un reactor UASB piloto para el tratamiento de lixiviados*”, concluyo que:

Mediante este se pudo corroborar que el tratamiento de lixiviado mediante un reactor UASB proporciona buenos resultados para la remoción de la DQO y DBO. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no se trabajó con lixiviado crudo, ya que se hicieron diluciones para poder mantener una carga deseada aproximadamente constante.

El sistema se recuperó satisfactoriamente después de sufrir una disminución considerable en su rendimiento, debido a que se dejó en recirculación durante una semana. Esto nos indica que el reactor piloto responde satisfactoriamente a perturbaciones que afectan su funcionamiento.

Sierra y Vivas (2 005) En su trabajo de investigación: “*Diseño e implementación de una unidad piloto de tratamiento biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero de Macanal (Corpochivor)*”, concluye que:

Las alternativas de tratamiento para la unidad biológica no convencional de los residuos líquidos del matadero de Macanal, se desarrollaron con base en las comparaciones realizadas a las variables de tipo económico y del índice de funcionalidad, haciendo énfasis en la primera. Estas alternativas de objeto de estudio y comparación fueron: lagunas de estabilización, reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP), Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente sobre manto de lodos (UASB) y plantas compactas de lodos

activados. No se seleccionaron las alternativas de lagunas de estabilización y plantas compactas de lodos activados por los mayores costos de construcción, operación y mantenimiento que implicaba su implementación. Finalmente, la alternativa de reactor anaerobio de flujo a pistón (RAP) fue seleccionada como base de diseño del Reactor Facultativo de Flujo a Pistón (RFP) por su costo reducido y mayor índice de funcionalidad. El reactor anaerobio sobre manto de lodos (UASB) fue escogido para aliviar las cargas de afluentes a la unidad biológica no convencional diseñada por las autoras del presente proyecto, por su bajo costo y buen índice de funcionalidad.

Las etapas más críticas e importantes en el proceso fueron la inoculación y el arranque del reactor debido a la baja tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas y de la necesidad de adaptación estas al medio de soporte y al sustrato y la creación de una simbiosis bacteriana, periodo en el cual son extremadamente sensibles a los cambios de la carga orgánica.

1.3.1.2. Nacional

De La Cruz y Orellana (2011). En su trabajo de investigación: *“Caracterización del desagüe industrial de la pasta de papa para la remoción de la carga orgánica utilizando un sistema combinado de UASB y lodos activados”*, concluye que:

La concentración de grasas y aceites en el desagüe industrial de la pasta de papa fueron muy altas debido a que la materia prima está compuesta de ácidos grasos. Por tal motivo, es recomendable diseñar un sistema de trampa de grasas como pre-tratamiento para aumentar la eficiencia en el UASB y evitar interferencias en la transferencia de oxígeno en el tanque de lodos activados.

Debido a que el desagüe industrial de la pasta de papa tiene un pH bajo, es recomendable controlar su valor utilizando soluciones reguladoras antes de su ingreso a la planta piloto. Cabe recordar que el rango de pH óptimo está entre 6,5 y 7,5. Se recomienda realizar una investigación de cómo el pH afecta en la eficiencia de remoción de la carga orgánica en un sistema

combinado (anaerobio-aerobio) utilizando valores de pH que se encuentran en el rango hasta determinar el pH óptimo que permita una mayor eficiencia en la planta piloto.

El sistema de tratamiento anaeróbico UASB, no puede mantener una eficiencia constante debido a que no soporta cambios bruscos de concentración en la carga orgánica.

Según la teoría, el rango de pH recomendable para una planta de lodos activados es de 6,5 a 8,5 (Spencer., 1 990; Huidobro et al., 1 993; Calderón y Ramírez., 2 004). En la figura 20, podemos observar como el pH se encuentra entre 7,4 y 9,2 durante todo el tiempo de funcionamiento del piloto. La oxigenación aumenta el pH, pero conforme transcurre el tiempo de funcionamiento de la planta piloto y se aumenta la concentración del desague de pota en la dilución en el tanque de entrada, el pH va disminuyendo gradualmente pero no salió del rango recomendable de trabajo de lodos activados.

1.3.2. Bases Teóricas.

1.3.2.1. Características de las aguas residuales de mataderos.

Las aguas residuales que se producen en los mataderos tienen un color pardo rojizo, una alta DBO, y contiene cantidades considerables de materia en suspensión. La sangre, al tener mucho nitrógeno, se descompone con facilidad. Además, los desperdicios contienen cantidades variables de estiércol, pelos y suciedad.

TABLA 01: Valores característicos de los vertidos de un matadero (sin depuración).

PARÁMETRO	VALORES MEDIOS	VALORES MÁXIMOS
pH	6,5 – 8	6 - 8,5
DQO mg/L	3 500	10 000
DBO mg/L	1 300	6 500
Sólidos suspendidos mg/L	700	2 700
Nitrógeno total mg/L	300	6 500
Aceites y grasas mg/L	500	1 500

Fuente: Benavides., 2 006.

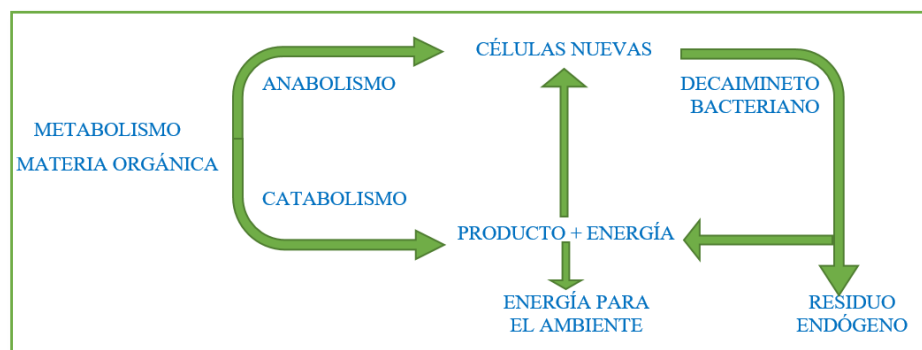
1.3.2.2. Biodegradabilidad anaeróbica.

1.3.2.2.1. Fundamento de la Digestión Anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que ocurre naturalmente en el ambiente, por ejemplo, en el estómago de los rumiantes. Bajo condiciones anaeróbicas la materia orgánica es degradada mediante un proceso microbiológico complejo, este proceso en biorreactores da una excelente solución para el tratamiento de residuos orgánicos. Los productos de este proceso son un efluente que puede ser utilizado como fertilizante orgánico y la producción de biogás como uso energético (Ferrer., 2 008).

Para poder llevar a cabo la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, se emplea el mecanismo del metabolismo bacteriano. El metabolismo consiste principalmente en la utilización de bacterias que su principal fuente de energía es la materia orgánica presente en las aguas residuales. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es transformada químicamente a productos finales, este proceso es acompañado por la liberación de energía llamado *Catabolismo*. Y Otro proceso denominado *Anabolismo o Síntesis* esto ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular (Ver Imagen 01).

IMAGEN 01: Representación esquemática del metabolismo bacteriano.



Fuente: Van Haandel., 1 994.

El anabolismo es un proceso que consume energía y solamente es viable si el catabolismo está ocurriendo para proporcionarle la energía necesaria para la síntesis celular. Por otro lado, el catabolismo solo es posible si existe la presencia de una población bacteriana viva. El catabolismo se divide en dos procesos fundamentalmente diferentes: (1) Catabolismo Oxidativo y (2) Catabolismo Fermentativo. El catabolismo oxidativo es una reacción redox, donde la materia orgánica es el reductor que es oxidada por un oxidante. En la práctica ese oxidante puede ser el oxígeno, nitrato o sulfato. Generalmente son necesarias varias fermentaciones secuenciales para que se formen productos estabilizados (Rodríguez., 2 006).

Desde el punto de vista medioambiental, el proceso anaerobio contribuye a la disminución en la generación de gases de efecto invernadero, si el metano producido sustituye una fuente no renovable de energía (Flotats et al., 2 000).

1.3.2.2.2. Fases de la Digestión Anaerobia.

Fase I: Hidrolisis.

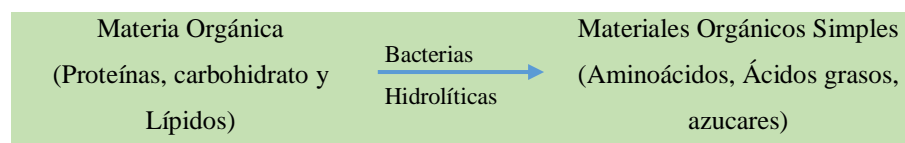
La hidrolisis de la materia orgánica polímero a compuestos solubles o monómeros es el paso inicial para la degradación anaeróbica de sustratos complejos ya que los microorganismos pueden utilizar únicamente materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular (Martí., 2006).

La materia orgánica polimérica (proteínas, carbohidratos y lípidos) es hidrolizada por enzimas extracelulares de los microorganismos hidrolíticos a moléculas orgánicas solubles, proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia. Los productos del hidrólisis son azúcares sencillos, aminoácidos y ácidos grasos, aunque la digestión de proteínas y aminoácidos forma amoniacó y iones amonio (Pavlostathis y Giraldo-Gómez., 1 995; citado por Rivera., 2 010).

Según Martí, (2 006). Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas:

- Proteínas, son fuentes de carbono y energía por lo cual es un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaerobia pues sus productos tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas por enzimas proteasas en péptidos y aminoácidos, parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis del nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, hidrogeno, amonio y sulfuro en las siguientes fases del proceso.
- Lípidos, su degradación en condiciones anaerobios comienza con la ruptura de las grasas por la acción de las enzimas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.
- Materiales lignocelulósicos, compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, su degradación es lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis pues la lignina es muy resistente a la degradación por parte de las bacterias anaeróbicas.

FIGURA 01: Esquema general de las reacciones en el proceso de Hidrolisis.



Fuente: Saucedo., 2 007.

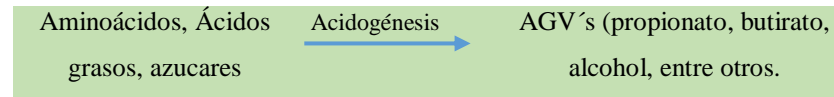
Fase II: Acidogénesis o Etapa Fermentativa.

La acidogénesis se define como un proceso anaeróbico microbiano con producción de ácido sin un donador o aceptar externo de electrones (Gujer Zehnder., 1 983. Citado por Rivera., 2 010). Las moléculas orgánicas solubles de la primera fase son degradadas a compuestos acético y liberando como productos hidrogeno y dióxido de carbono que son utilizados directamente por bacterias metanogénicas (Martí., 2 006).

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica de las bacterias acetogénicas con las metanogénicas que substraen los productos

fniales del medio para disminuir su concentración, esto activa la reacción y actividad de los compuestos orgánicos más reducidos que luego serán oxidados por las bacterias acetogénicas (Hilbert., 2 006). El pH se encuentra en la zona acida 5,1 a 6,8 (Guevara., 1 996)

FIGURA 02: Esquema general del proceso de Acidogénesis.



Fuente: Saucedo., 2 007.

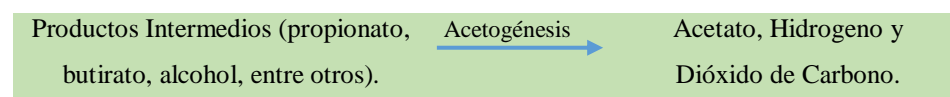
Fase III: Acetogénesis.

El paso siguiente es la Acetogénesis Acidoclástica y consiste en la generación de ácido acético a partir de los AGV formados en la Acidogénesis. En esta fase, un grupo de bacterias conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno” (OHPA), las cuales son obligadas a producir hidrogeno, convierten los productos de la fermentación en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. Estos organismos utilizan los ácidos grasos o alcoholes como fuente energética.

En esta fase, la degradación de ácidos orgánicos a acetato, es un proceso de oxidación sin un aceptar interno de electrones, por lo cual se necesita organismos que oxidan los ácidos orgánicos para utilizar un aceptor de electrones adicional como el ion hidrógeno o el CO₂, y estos son consumidos por organismos Metanógenos (Batstone et al., 2002. Citado por Rivera., 2 010). El pH se encuentra en la zona acida 6,6 y 6,8 (Guevara., 1 996).

La oxidación del acetato en condiciones mesófilas se incrementa conforme aumenta la concentración de sales, principalmente amoníaco y ácidos grasos volátiles (Schnürer et al., 1999 citado por Rivera., 2010).

FIGURA 03: Esquema general del proceso de Acetogénesis.



Fuente: Saucedo., 2 007.

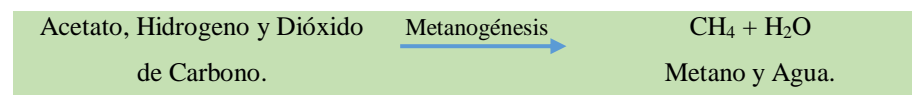
Al respecto, los Metanógenos Hidrogenotrófico juegan un rol crucial en la eliminación constante de H₂ y produciendo metano para hacer energéticamente posible la oxidación por organismos consumidores de H₂. Así, la asociación entre oxidadores de sustrato y Metanógenos consumidores de H₂ es indispensable para sostener el proceso completo de degradación anaeróbica (Rivera., 2 010).

Fase IV: Metanogénesis.

Los microorganismos metanogénicas mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados como el acetato, H₂/CO₂, formato, metanol y algunas metilaminas completan el proceso de digestión anaerobia. Se establece dos grupos de microorganismos en función al sustrato principal que metabolizan: Hidrogenotrófico quienes consumen H₂/CO₂ y fórmico y los Acetoclásticos, consumen acetato, metanol y algunas aminas (Martí., 2 006). Los dos mecanismos de producción de metano (Madigan et al., 2 004. Citado por Rivera., 2 010) son:

Se ha demostrado que el 70% del metano producido en reactores anaeróbicos se forma a partir de acetato, solo dos géneros que tienen especies acetotróficas pueden utilizar acetato y son Methanosarcina y Methanothrix. (Martí., 2 006). El pH se encuentra entre 6,9 a 7,4 (Guevara., 1 996).

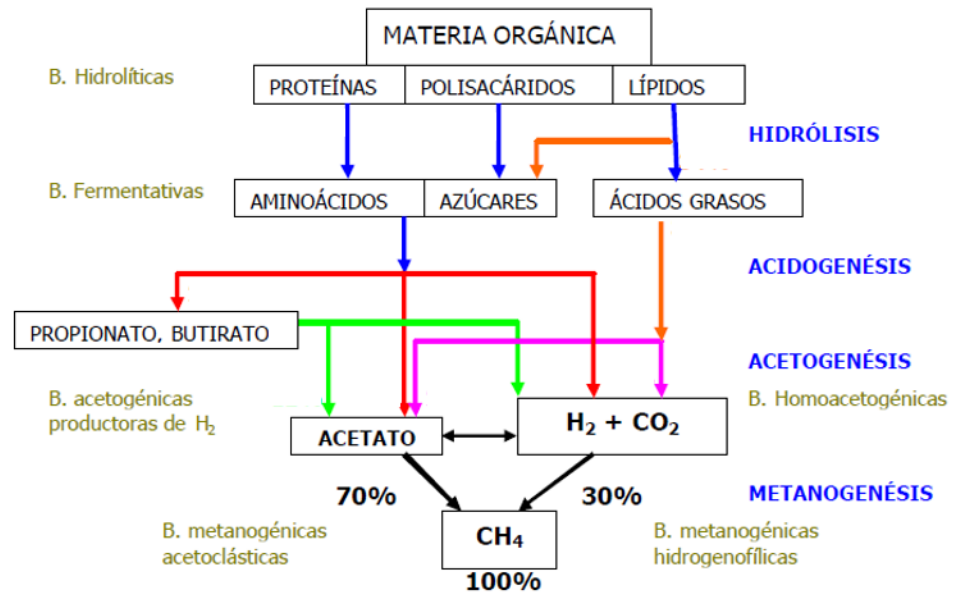
FIGURA 04: Esquema general del proceso de Metanogénesis.



Fuente: Saucedo., 2 007.

A continuación, se muestra un esquema resumiendo lo mencionado anteriormente:

IMAGEN 02: Etapas de la digestión anaerobia.



Fuente: Madigan., 1 997; Van Haandel., 1 994.

1.3.2.2.3. Proceso de Sulfato Reducción.

El sulfato reducción es el proceso durante el cual el sulfato se reduce a sulfuro de hidrógeno, mediante la participación de las Bacterias Sulfato Reductoras (BSR) (Ver Figura 05).

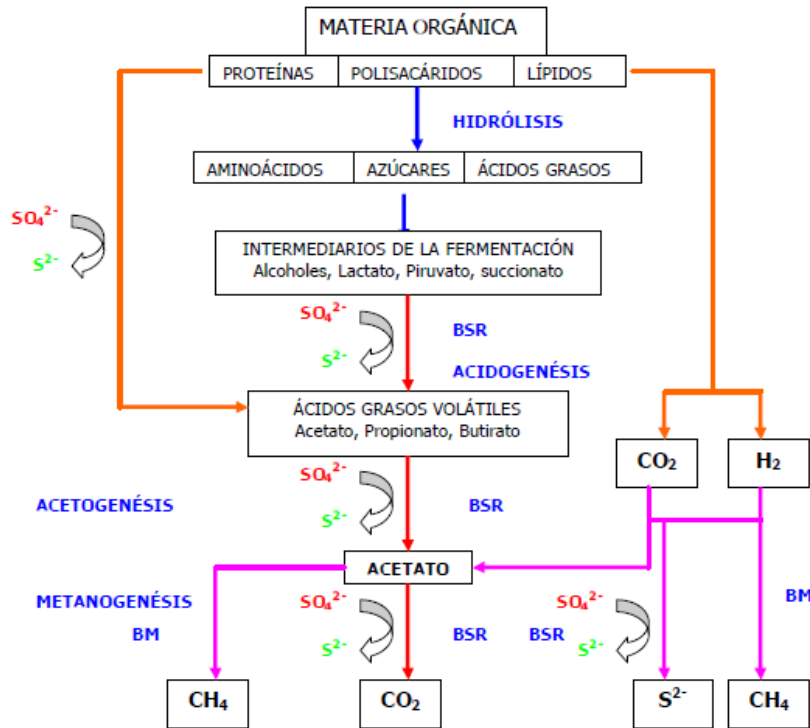
FIGURA 05: Reducción biológica del sulfato.



Fuente: Saucedo., 2 007.

Durante la degradación anaerobia de la materia orgánica, puede ocurrir que las BSR utilicen el sulfato como aceptor de electrones. Las BSR son anaerobios estrictos, ampliamente distribuidas en ambientes acuáticos y terrestres, cumplen un importante papel en las etapas finales de la degradación de la materia orgánica, especialmente en la remoción de los sulfatos presentes en el afluente. Pueden crecer en presencia o ausencia de sulfatos, utilizando vías metabólicas diferentes; una fermentativa y la otra oxidativa (Ver Imagen 03)

IMAGEN 03: Proceso de sulfato reducción en la degradación de la materia orgánica.



Fuente: Gibson., 1 990.

En presencia de sulfatos, las BSR compiten con las bacterias metanogénicas (BM) por sustratos comunes como: formato e hidrógeno, con las bacterias acetogénicas (BA) por componentes como propionato y butirato. Esto no significa que la metanogénesis y la sulfato reducción sean excluyentes, pues pueden ocurrir simultáneamente cuando el metano se genera a partir del metanol y/o aminas metiladas, sustratos por los cuales las BSR tienen poca afinidad. Los reactores anaerobios operan a valores umbrales para el consumo de hidrógeno por la población metanogénica. Sin embargo, el valor umbral de las BSR es más bajo, por lo que, en presencia de sulfato, el hidrógeno es consumido principalmente por las BSR. Esta población tiene ventajas cinéticas frente a las BM que favorecen su proliferación al interior de los reactores. En reactores anaerobios con alta concentración de sulfato, las BSR también compiten con las BA por sustratos como propionato y butirato,

por lo que la relación sintrófica entre las BM y BA para la oxidación de estos compuestos es superada por las BSR.

En ausencia de sulfato, las BSR pueden constituir el 15% del total de la biomasa presente en el reactor anaerobio. Bajo estas condiciones fermentan sustratos como: piruvato, lactato, etanol, fructuosa, propanol y acetato entre otros, y crecen como organismos acetogénicos (Díaz., 2002).

1.3.2.2.4. Microbiología de la Digestión Anaerobia.

Bacterias que participan de la hidrólisis

Los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis. Entre estos destacan: Bacteroides, Lactobacillus, Propionibacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megasphaera, Bifidobacterium

Bacterias que participan de la acidogénesis

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica. El grupo Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides representa el segundo grupo más grande de microorganismos durante las dos primeras fases de la descomposición. Sin embargo, en la fase metanogénica representan menos del 5% del total de microorganismos. Esto indica que estos grupos son los principales responsables de la degradación de compuestos monómeros.

Bacterias que participan de la acetogénesis

Estas bacterias sólo pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno. Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 h. Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos

Bacterias que participan de la metanogénesis

La última fase de la descomposición anaeróbica se encuentra dominada por un grupo especial de microorganismos, las Arqueas metanogénicas. Estas se caracterizan a través del co-factor F420, el cual actúa en presencia de hidrogenasas como transportador de H₂. Este puede detectarse por su autofluorescencia en un microscopio óptico.

Las metanogénicas activas aparecen en la segunda fase de la fermentación, la fase de acidogénica. Sin embargo, obviamente el número de Arqueas metanogénicas aumenta en la fase metanogénica. Las principales especies están representadas por *Methanobacterium*, *Methanospirillum hungatii*, y *Methanosarcina*.

1.3.2.2.5. Inhibición Del Proceso Anaerobio.

El proceso de digestión anaerobia es inhibido por presencia de sustancias tóxicas en el proceso ocasionando la falla de un biodigestor. (Martí., 2 006). Estas sustancias están presentes en concentraciones sustanciales en los residuos, lodos y aguas residuales (Chen et al., 2 008. Citado por Rivera., 2 010), además pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos (Martí., 2 006).

Un material es inhibidor cuando causa un cambio adverso en la población microbiana o inhibición del crecimiento bacteriano (Chen et al., 2008. Citado por Rivera., 2 010), entre los más comunes incluyen el amoníaco, sulfuro, iones metálicos ligeros, metales pesados y compuestos orgánicos (Rivera., 2 010).

Nitrógeno Amoniacal

El nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales en el proceso anaeróbico, el nitrógeno amoniacal es la suma del ión amonio (NH₄⁺) y del amoníaco (NH₃), estas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada uno

depende del pH (Martí., 2 006). La que inhibe el proceso es el amoniaco libre, es la principal inestabilidad asociada con la digestión anaeróbica de residuos animales (Rivera., 2 010). Esta inestabilidad a menudo resulta en una acumulación de ácidos grasos volátiles lo cual conduce a una reducción del pH y disminuye la concentración de amoniaco libre.

Se ha comprobado experimentalmente que el efecto inhibitorio por amonio aumenta el pH alcalino, también está vinculado con relación C/N, capacidad tamponadora del medio y temperatura de digestión. Aquellos residuos que contengan mayores proporciones de proteínas o compuestos nitrogenados presentaran más problemas de inhibición por amonio (Martí., 2 006). Para la remoción de amoniaco se pueden emplear métodos fisicoquímicos como la precipitación química, incremento del tiempo de retención de biomasa (Chen et al., 2 008. Citado por Rivera., 2010).

Sulfatos y Sulfuros

Elevadas concentraciones de sulfato en el sustrato pueden producir la inhibición de la fase metanogénesis, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por el acetato e hidrogeno (Martí., 2006). El sulfuro es también un inhibidor para muchos grupos bacterianos, la forma toxica es la no ionizada, por la que la inhibición se favorece a pH bajos y a bajas temperaturas (Martí., 2 006). Los niveles de inhibición del sulfuro van de 100 a 800 mg/L de sulfuro disuelto (Chen et al., 2 008. Citado por Rivera., 2 010).

Sales

Altos niveles de sal pueden causar deshidratación de las células bacterianas inhibiendo el proceso, la toxicidad de las sales predomina por los siguientes cationes (Chen et al., 2008, citado por Rivera, 2010):

- El Ca^{2+} es un fuerte inhibidor a concentraciones de 8000 mg/l aunque la adición de calcio puede tener impactos positivos en los reactores cuando se desea aumentar la retención de la biomasa

- El Mg^{2+} a altas concentraciones muestran un estímulo en la producción de células aisladas, sin embargo, estas células aisladas muestran una alta sensibilidad a la lisis lo que crea un factor importante en la pérdida de la actividad acetoclástica.
- Altos niveles de potasio extracelular conducen a una afluencia pasiva de iones potasio que neutralizan el potencial de la membrana. El sodio, magnesio y amoníaco mitigan la toxicidad del potasio.

Ácidos grasos volátiles

Los ácidos grasos volátiles, productos intermedios mayoritarios del proceso anaerobio, es uno de los parámetros que indica la evolución del proceso, un aumento significa una desestabilización del proceso y en consecuencia una disminución de la producción de biogás (Martí., 2006). Los ácidos grasos de cadena corta son capaces de inhibir la metanogénesis a altas concentraciones principalmente propiónico y butírico, la razón aquí es que los Metanógenos no son capaces de metabolizar el acético producido hasta que el número de metanogénicos se incremente lo suficiente (Ward et al., 2 008. Citado por Rivera., 2010). Así mismo, los ácidos grasos de cadena larga han mostrado la inhibición del proceso siendo más sensible en los Metanógenos (Roy et al., 1 985. Citado por Rivera., 2 010).

1.3.2.3. Fundamentos del proceso UASB.

En condiciones anaerobias suelen ocurrir procesos como la desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica. La conversión de la materia presente en el agua residual en metano es realizada por una comunidad microbológica heterogénea compuesta por dos bacterias: No Metanogénicas y Metanogénicas.

La relación simbiótica que debe mantener el grupo de bacterias conserva una asociación sintrófica ya que las bacterias acetogénicas conocidas como bacterias productoras obligadas de Hidrógeno producen Acetato e hidrógeno, el cual es utilizado por las bacterias metanogénicas y

hidrogenofílicas. Los métodos de tratamiento anaerobio se han desarrollado en dos líneas.

1. Bajas tasas de aplicación (Digestores de Biogás, Tanques Sépticos, Lagunas Anaerobias).
2. Altas tasas de carga orgánica (Reactores con Crecimiento Celular en Suspensión, Reactores con Biopelícula Fija).

El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de Biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH_4 y CO_2 .

1.3.2.3.1. Parámetros de seguimiento en un biorreactor UASB.

La operación de biorreactores tipo UASB, está basada en el monitoreo de diferentes parámetros. Estos parámetros están relacionados ya sea con el agua residual, el lodo, el reactor, el contacto del agua residual con el lodo y la forma como esté distribuido en el interior del reactor

Temperatura (T°)

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15°C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la sedimentación, mientras que por encima de 15°C la biodegradación se incrementa. La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. Los ambientes anaeróbicos en relación con la temperatura pueden subdividirse en tres categorías, según el siguiente cuadro:

TABLA 02: Intervalo de temperatura en la que trabajan las bacterias anaerobias.

BACTERIAS	RANGO DE TEMPERATURA ($^\circ\text{C}$)			TIEMPO DE FERMENTACIÓN
	MÍNIMO	ÓPTIMO	MÁXIMO	
Psicrofílicas	4 – 10	15 - 18	25 - 30	Mayor a 100 días

Mesofílicas	15 - 20	28 - 33	35 - 45	30 - 60 días
Termofílicas	25 - 45	50 - 60	75 - 80	10 - 15 días

Fuente: Martí et al., 2 006; Lagrange., 1 979.

Si el intervalo de temperatura en el reactor cambia, es necesario arrancar el reactor de nuevo. En el rango mesofílico, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye a la mitad por cada 10°C de descenso por debajo de 35°C.

Potencial de Hidrogeno (pH)

La influencia del pH sobre la producción de metano está relacionada con la concentración de AGV's. Los diferentes grupos bacterianos presentan niveles de actividad satisfactorios a pH próximos pero un poco diferentes; los hidrolíticos entre 7,2 y 7,4, los acetogénicos entre 6,5 y 7,5. Las bacterias metanogénicas disminuyen su actividad si el pH aumenta por encima de 7,8. Cuando la capacidad metanogénica está continuamente sobrecargada y no se añade la base necesaria para neutralizar los AGV's presentes, el sistema de tratamiento se convertirá en un reactor de acidificación, el pH de este efluente estará entre 4,5 y 5.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20°C y en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Medida en el afluente y efluente del reactor permite calcular la remoción del mismo.

Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Es una medida de la materia orgánica en la muestra equivalente, a la cantidad de oxígeno que se puede oxidar químicamente en un medio ácido. Puede relacionarse con la DBO₅. La oxidación se realiza con un

agente oxidante fuerte en un medio ácido. Tiene la misma importancia que la DBO₅.

1.3.2.3.2. Tratamiento de las aguas residuales, en biorreactores tipo UASB.

Comportamiento del birreactor UASB

La abreviación UASB se define como Upflow Anaerobic Sludge Blankett (en inglés) o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (en español). Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, como es el caso de las aguas residuales proveniente de los Mataderos.

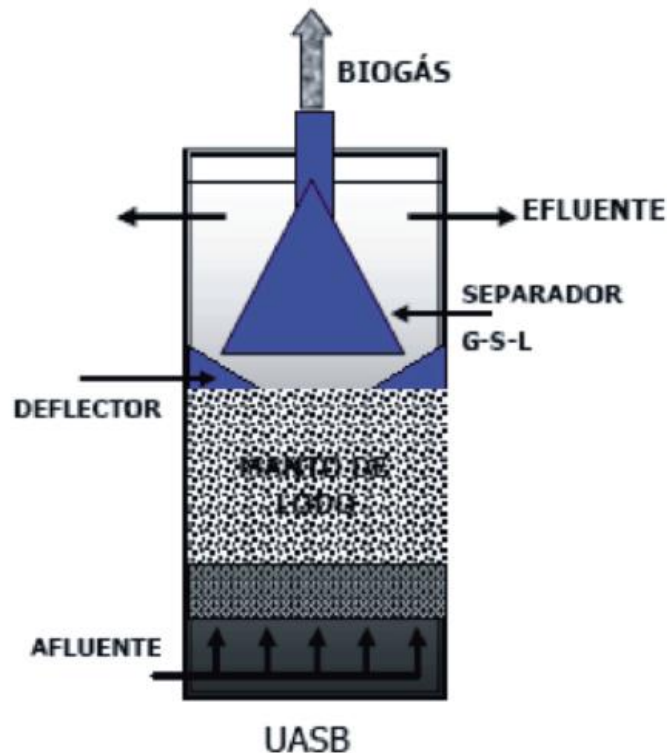
El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH₄ y CO₂. (Caicedo., 2 006).

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional. En la figura 06 se muestra un esquema general de un biorreactor tipo UASB que consiste básicamente de 3 zonas:

1. Zona de entrada: donde el efluente a ser tratado es uniformemente distribuido en la base del reactor y encaminado ascensionalmente a la zona de digestión.

2. Zona de digestión: el efluente pasa a través de un lecho de bacterias anaerobias donde los contaminantes son degradados y transformados en gas.
3. Zona de sedimentación: está localizada en la parte superior del reactor, allí sucede la separación del gas, sólido y líquido.

FIGURA 06: Esquema general de un biorreactor tipo UASB.



Fuente: Arango y Sánchez., 2009.

Características de un UASB

Arranque

La problemática del arranque de un reactor anaerobio consiste en mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de la biomasa siendo los nutrientes necesarios lo más importante para ello. Esto último puede variar mucho dependiendo del origen del agua y en el caso de las aguas residuales domésticas, aunque los valores de los diferentes componentes se encuentran balanceados, normalmente la concentración de éstos es muy baja, particularmente para el desarrollo de la biomasa anaerobia por lo que el crecimiento resulta

excesivamente lento produciendo un arranque muy prolongado. (Pacheco et al., 2 003).

Se ha utilizado con éxito líquido ruminal como inóculo para aguas de efluentes de fosas sépticas, así como para diferentes sustratos (Méndez et al., 2 013). Para el arranque se utilizó líquido ruminal como inóculo, el cual se obtuvo del rastro de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia, se realizó una mezcla con agua residual, haciendo una proporción de 2:3 (líquido y agua residual respectivamente) (Méndez et al., 2 013).

Se utilizaron el líquido ruminal como inóculo en un reactor UASB modificado para el tratamiento de aguas residuales de rastro, obteniendo en ambos casos períodos de arranque cortos 74 y 54 días respectivamente (Castillo et al., 2 010).

La duración del arranque depende de los parámetros biológicos, químicos y físicos. El arranque está influenciado por la concentración y composición de las aguas residuales, el volumen, la actividad y la adaptación del inóculo, condiciones ambientales, parámetros de operación y por último la configuración del reactor. Todos ellos se encuentran estrechamente relacionados (Noyola., 1 995).

Ventajas.

Los reactores del tipo UASB presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor (costos de implantación y manutención), producción pequeña de lodos excedentes, consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento (Ramírez et al., 1 998).

Son económicos energética y ecológicamente. Los filtros anaerobios son relativamente pequeños, fáciles de construir y presentan buenas eficiencias de remoción de materia orgánica (Castillo et al., 2 006).

Desventajas.

Las limitaciones del proceso están relacionadas con las aguas residuales que tienen alto contenido de sólidos, o cuando su naturaleza impide el desarrollo de los lodos granulados.

El arranque del proceso es lento, pues consiste en mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento de la biomasa siendo los nutrientes necesarios lo más importante para su crecimiento.

Las bacterias anaerobias (particularmente las metanogénicas) se inhiben por un gran número de compuestos.

Su aplicación debe ser monitoreada y puede requerir un pulimiento posterior de su efluente, además se generan malos olores si no es eficazmente controlado.

Mantenimiento.

El operador debe revisar diariamente que las tuberías de entrada al UASB no estén obstruidas por algún cuerpo extraño como botellas, plástico, madera o basuras. En caso de encontrar algún objeto debe proceder a retirarlo con una pala curva o con un rastrillo.

El Operador lavará, la superficie del UASB una vez a la semana como mínimo con la misma agua tratada a presión.

El reactor anaerobio de flujo ascendente se purgará cuando se encuentre saturado, esto lo indicará la excesiva salida de lodos en el área del efluente. La purga consistirá en la extracción de lodos del registro del UASB mediante una bomba especializada para lodos, esta purga se realizará aproximadamente tres años después de la fecha de arranque.

El lodo generado podrá ser succionado (bombeado) dejando un residuo de unos 0,15 a 0,20 m, ya que esta capa contendrá suficientes bacterias para iniciar una nueva colonia digestora. (Escalante., 2 000).

Producción del Biogás.

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Su composición, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente:

- 50-70% de metano (CH₄).
- 30-40% de anhídrido carbónico (CO₂).
- ≤ 5% de hidrógeno (H₂), ácido sulfhídrico (H₂S), y otros gases.

Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5 500 kcal/Nm³ (6,4 kWh/Nm³).

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

Producción de Biosol.

En la parte inferior del biodigestor se depositan los lodos el cual es conocido como biosol, este es el resultado de separar la parte sólida del fango producto de la fermentación anaerobia que se produce en el Biodigestor, se recomienda descargar el Biodigestor para una adecuada mantenimiento del sistema; este proceso nos permitirá retirar del fondo del digestor el material sólido. Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon en el tratamiento del agua. Para su aplicación se puede emplear solo o en conjunto con compost o con otros fertilizantes químicos. Entre los usos más comunes de los lodos de digestión se tiene:

- Acondicionamiento de suelos.

- Biofertilizante.
- En mezcla para macetas.
- Cubierta vegetal en rellenos sanitarios.
- Recuperación de suelos o sitios degradados.
- Biorremediación de suelos.

Se puede observar que los usos más recomendables en que se pueden emplear los lodos es en la agricultura, dándole un valor agregado como Biofertilizante.

Producción de Biol.

El agua residual que se obtiene como producto del tratamiento se convierte en un abono orgánico líquido que es el resultado de la descomposición anaerobia propio del agua residual. Este efluente contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes.

El Biol, como fertilizante líquido, es muy útil para ser aplicado a través en los sistemas de irrigación. A continuación, se adjunta algunas dosificaciones de referencia, según tipo de cultivo:

CUADRO 01: Ejemplos de dosificación de Biol.

CULTIVO	DOSIFICACIÓN
Papa	300 Litros de Biol/ha en 3 aplicaciones foliare. Cada aplicación en una dilución al 50% (100 litros de Biol en 200 litros de agua)
Algodón	160 Litros de Biol/ha en 4 aplicaciones foliare. Cada aplicación en una dilución al 20% (40 litros de Biol en 200 litros de agua)
Uva	320 Litros de Biol/ha en 4 aplicaciones, en una dilución al 20%.
Maíz	160 Litros de Biol/ha en 4 aplicaciones, en una dilución al 20%.
Esparrago	320 Litros de Biol/ha en 4 aplicaciones, en una dilución al 20%.
Fresa	480 Litros de Biol/ha en 12 aplicaciones (cada semana durante los 3 primeros meses). en diluciones al 20%.

Fuente: Aparcana. 2008.

1.3.3. Definición de Términos.

- **Ácidos Grasos Volátiles:** son productos de la fermentación ácida entre los que se tienen los ácidos fórmicos, acético, propiónico o láctico, butírico, valérico, isovalérico y caprico.
- **Alcalinidad:** la alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. La alcalinidad ayuda a regular los cambios del pH, producidos por la adición de ácidos.
- **Beneficio:** Es el sacrificio de animales para la producción de carne de consumo humano, cumpliendo las normas higiénico-sanitarias correspondientes, dando un buen trato a los animales e involucrando procesos de calidad, buenas prácticas de operación y control de riesgos.
- **Carga Orgánica:** producto de la concentración de DBO₅ o la DQO por el caudal; se expresa en kilogramos por día (kg/d).
- **Carga Volumétrica:** carga orgánica aplicada a un proceso de tratamiento dado por unidad de volumen (Kg DQO/ m³-día).
- **Caudal:** Es el flujo volumétrico que pasa a través de un área determinada por unidad de tiempo, en este caso será medido y controlado por medio de válvulas o graduando la potencia de la bomba antes del ingreso a la planta piloto.
- **Contaminación:** Cualquier alteración perjudicial en las características físicas, químicas y/o bacteriológicas de las aguas.
- **Contaminantes:** Sustancias sólidas, líquidas o gaseosas que al incorporarse al cuerpo receptor o al actuar sobre él, degradan o alteran la calidad que tenía antes de dicha acción, en niveles no adecuados para la salud y el bienestar humano, o que ponen en peligro los ecosistemas naturales o las actividades y recursos de interés humano.
- **Cuerpo receptor:** Es el medio natural acuático, terrestre o aéreo que recibe una descarga continua, intermitente o fortuita. La calidad de los cuerpos receptores se compara con los estándares de calidad ambiental correspondientes.

- **Degradación:** capacidad de descomposición biológica o química de los compuestos orgánicos. Se desarrolla principalmente, en razón de los procesos metabólicos de microorganismos.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados generalmente cinco días y 20°C. Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.
- **Demanda Química De Oxígeno (DQO):** medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.
- **Digestión Anaerobia (DA):** degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular por efecto de microorganismos, usualmente va acompañada de la generación de ácidos y gas metano.
- **Efluentes líquidos de actividades agroindustriales:** Las que provienen de las actividades de la elaboración de alimentos, crianza y reproducción ganadera, porcícola, avícola y establos.
- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.
- **Inoculación:** Incorporación de lodos biológicamente activos al proceso unitario (reactor biológico) con el objeto de acelerar la etapa inicial del proceso en el tratamiento biológico de aguas residuales.
- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.
- **Matadero:** Establecimiento Autorizado por el SENASA con características Higiénico–Sanitarias apropiadas para realizar actividades de faenados de animales de abasto.

- **Monitoreo:** Evaluación sistemática y periódica de la calidad de una muestra de efluente o cuerpo receptor en un punto de control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, la toma de muestras y el análisis de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.
- **Muestra Compuesta:** Mezcla de varias muestras instantáneas recolectadas en el mismo punto de muestreo en diferentes tiempos. La mezcla se hace sin tener en cuenta el caudal en el momento de la toma.
- **Muestra simple:** La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente el o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento de muestreo.
- **Oxidación:** conversión de materia orgánica en formas más simples y estables con liberación de energía. Esto se puede lograr con medios químicos o biológicos. Adición de oxígeno a un compuesto.
- **Parámetro:** Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica de un efluente que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente decreto supremo.
- **Planta de beneficio:** Todo establecimiento dotado con instalaciones necesarias y equipos mínimos requeridos para el beneficio de animales para consumo humano, así como para tareas complementarias de elaboración o industrialización.
- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.
- **Planta Piloto:** Planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la tratabilidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.
- **Punto de control:** Ubicación aprobada por la autoridad competente en la cual son obligatorios el monitoreo y el cumplimiento de los **LMP**.

- **SENASA:** Servicio Nacional de Sanidad Agraria.
- **Sintrófia:** Interacción de microorganismos que, en vez de competir por el mismo nutriente, colaboran para llevar a cabo una transformación determinada que ningún otro de los que intervienen en el proceso podría realizar por sí mismo, ya que el producto metabólico de un grupo microbiano se constituye en el sustrato de otro.
- **Sustrato:** Alimento suministrado a los microorganismos; en este caso se entiende por sustrato la materia orgánica contenida en el agua residual doméstica.
- **Tratamiento:** Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar las características físicas, químicas o biológicas del residuo líquido a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de daño a la salud y al ambiente.
- **Valores Máximos Admisibles (VMA):** Valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.
- **Tiempo De Retención Hidráulico (TRH):** Tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento. Usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.
- **Tratamiento Anaerobio:** Es un proceso biológico en ausencia de oxígeno en donde los microorganismos convierten los compuestos orgánicos a metano, dióxido de carbono y materia celular, principalmente.

1.4. Variables.

1.4.1. Variable Independiente.

- ✓ Biorreactor Tipo UASB a nivel piloto.

1.4.2. Variable Dependiente.

- ✓ Tratamiento integral de las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba.

1.5. Hipótesis.

En tal sentido, podemos plantear nuestra hipótesis nula (**H₀**) y nuestra hipótesis alternativa (**H₁**):

- ✓ **H₀**: Las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba no pueden ser tratadas de manera integral en un biorreactor tipo UASB a nivel piloto.
- ✓ **H₁**: Las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba pueden ser tratadas significativamente de manera integral en un biorreactor tipo UASB a nivel piloto.

Nota: Por lo tanto, podemos decir que la hipótesis nula puede ser diferente que la hipótesis alternativa:

$$\mathbf{H_0 \neq H_1}$$

CAPITULO II. MARCO METODOLÓGICO.

2.1. Tipo de Investigación.

2.1.1. De acuerdo a la orientación.

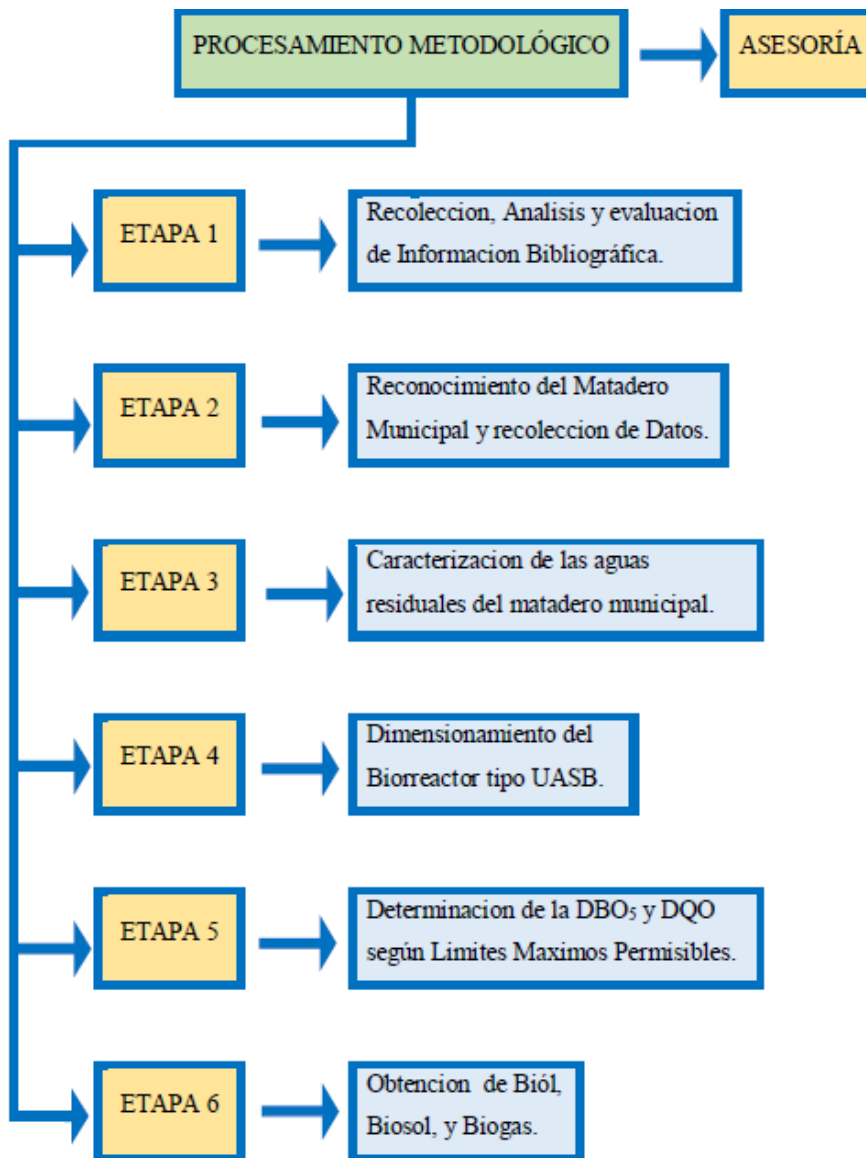
- Aplicada.

2.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación.

- Explicativa.

2.2. Diseño de la Investigación:

IMAGEN 04: Diagrama metodológico.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.1. Recolección, análisis y evaluación de información bibliográfica:

Se procedió a realizar la recopilación de la información mediante la revisión bibliográfica relacionadas al tratamiento de aguas residuales de mataderos en biorreactores tipo UASB, y el aprovechamiento de los sub productos propios del proceso anaerobio.

La información obtenida se realizó utilizando herramientas y metodologías apropiadas, una vez obtenida la información necesaria esta fue analizada y evaluada, seleccionando lo necesario la cual nos ayudó a lograr con los objetivos de esta investigación.

2.2.2. Reconocimiento del matadero municipal y recolección de datos.

Para la realización del diagnóstico situacional y la recolección de datos del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, se ha tomado en consideración dos aspectos fundamentales:

Aspecto Técnico - Operativo: Que describe el proceso de evacuación de las aguas residuales desde su generación hasta la incorporación de este a la fuente receptora (Acequia).

Aspecto Gerencial - Administrativo: Que comprende información sobre el Análisis de la Gestión del Servicio, Recursos Humanos y Financieros.

2.2.3. Caracterización de las aguas residuales del matadero municipal.

Se realizó la caracterización de las aguas residuales del matadero municipal, ya que se debería de conocer la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para realizar el cálculo del dimensionamiento del biorreactor tipo UASB, así mismo es necesario conocer los parámetros del agua como pH y Temperatura.

2.2.4. Dimensionamiento del biorreactor tipo UASB.

Se realizó el correcto dimensionamiento, siguiendo la secuencia de cálculo para la construcción de un UASB.

2.2.5. Determinación de la DBO₅ y DQO, según Límites Máximos Permisibles.

Los resultados obtenidos de las muestras enviadas al laboratorio, fueron analizadas e interpretadas según los Límites Máximos Permisibles de acuerdo a la normativa vigente. Para la obtención de los resultados se emplearon los siguientes métodos:

CUADRO 02: Método de Ensayo.

ENSAYO	UNIDAD	METODO DE ENSAYO UTILIZADO
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-day BOD Test.

Fuente: Anexos, Resultado de Laboratorio.

2.2.6. Obtención de Biol, Biosol, y Biogás.

La determinación de la producción de Biol, Biosol, y biogás; fueron calculadas de acuerdo a fórmulas establecidas en las bibliografías respectivas.

2.3. Población y Muestra.

2.3.1. Población.

El caudal total que se produce, como producto del faenado, mantenimiento y limpieza en el matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, en la actualidad es de 15,20m³/día (Fuente: Administración del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba)

2.3.2. Muestra.

La cantidad que se recolectó del total del efluente que genera el matadero municipal de la ciudad de Moyobamba la cual se utilizó para poner en funcionamiento el Biorreactor tipo UASB a nivel piloto, se conoce que un Biorreactor trabaja con el 70% del volumen total diseñado. Para este proceso de estudio se diseñó un Biorreactor de una capacidad de 70 l/día, el cual trabajó al 70% de su diseño, para ello se tomó como muestra 49 L/día para el proceso de desarrollo del presente proyecto.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

2.3.3. Procedimiento de la investigación.

- **Solicitud de autorización a la municipalidad provincial de Moyobamba y administración del matadero municipal.**

Para el inicio del desarrollo de las actividades, se procedió a presentar una carta ante la municipalidad provincial de Moyobamba, en donde se solicita el permiso correspondiente para poder ejecutar la investigación en las instalaciones del matadero municipal. Se solicitó el ingreso sin restricciones al establecimiento, el uso del agua residual y un área de 8m², la cual se empleó para la construcción de la planta piloto.

- **Caracterización de las aguas residuales del matadero municipal.**

Se tomaron muestras compuestas del agua residual del matadero municipal, las cuales fueron enviadas al laboratorio para ser analizadas. Los resultados obtenidos fueron analizados.

- **Secuencia de cálculo para dimensionamiento del biorreactor UASB.**

Los reactores anaerobios se pueden diseñar con forma rectangular o cilíndrica, la siguiente secuencia de cálculo se realizó con la forma cilíndrica ya que se tienen algunas ventajas hidráulicas en comparación con la forma rectangular, por ejemplo, siendo la principal y más importante, que se evita la formación de zonas muertas.

Según Caicedo (2 006), la secuencia de cálculo que se propone es la siguiente:

1) Definición de variables de diseño

El cálculo se inicia con cuatro variables que se describen a continuación y que se obtienen de manera experimental o por medición directa:

- Diámetro del tubo que se utilizó como cuerpo del reactor UASB, se representa como d (diámetro) y su unidad es el cm (centímetro).
- El caudal mínimo, el cual se determina a partir del tipo de bomba peristáltica o por el interés del diseñador, se representa como Q (caudal) y sus unidades son ml/min.

- La carga orgánica por día que estará alimentando al biorreactor, representado como carga y sus unidades son kg DQO/m³x día.
- El tiempo de residencia hidráulica, identificado como TRH, la unidad es el día.

2) *Cálculo del volumen del reactor.*

Se emplea la siguiente expresión:

$$V_R = TRH * Q * 1\ 440$$

Donde 1 440 es un factor de conversión de minutos a días para que el volumen se pueda expresar en mililitros.

3) *Área del reactor.*

Se emplea la siguiente expresión:

$$A_R = \frac{\pi D^2}{4};$$

Las unidades del área tienen que ser centímetros cuadrados.

4) *Altura efectiva del reactor.*

Para un adecuado funcionamiento del reactor, la altura efectiva tiene que ser mayor a un metro. Se tiene que introducir el volumen del reactor en centímetros cúbicos. Se emplea la siguiente expresión:

$$L = \frac{4V_R}{\pi D^2};$$

La longitud se tiene que expresar en centímetros.

5) *Flujo másico.*

La expresión utilizada es la que se muestra a continuación, destacando que el volumen del reactor se debe introducir en metros cúbicos.

$$F = V_R * Carga\ Orgánica$$

El flujo másico se tiene que expresar en kg DQO/día.

6) *Carga hidráulica.*

Se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Las unidades que se obtienen son cm/min, por lo que se deben convertir a m/h. El valor numérico obtenido no debe exceder de 1 m/h, pues este es el valor típico recomendado para un correcto funcionamiento.

7) *Velocidad de flujo en la campana.*

La expresión utilizada es la siguiente:

$$V_C = 4C_H$$

y las unidades que se obtienen, también son m/h.

8) *Campana separadora de Gas-Líquido-Sólido.*

Los objetivos a lograr con la implementación de la campana para el reactor son:

- Separación y descarga adecuadas del biogás.
- Permitir el deslizamiento del lodo dentro del compartimento de digestión.
- Servir como una clase de barrera, que permita retener expansiones excesivamente rápidas del manto de lodos dentro del sedimentador.
- Prevenir el lavado (salida) de lodo granular flotante y floculento.

Para la construcción de la campana se tienen en cuenta los parámetros recomendados por la literatura, los cuales indican que la estructura convencional es la más adecuada, gracias a su fácil construcción, simplicidad de instalación, funcionamiento y eficiencia. Los aspectos a considerar en el diseño son los siguientes:

- La velocidad de flujo ascendente en la abertura.
- El ángulo de los lados de la campana.
- El traslapo vertical.

Todos estos criterios son flexibles, ya que pueden ajustarse entre sí de acuerdo a las proporciones del biorreactor, a continuación, se muestran los parámetros de diseño básicos:

8.1) *Área de abertura.*

Está relacionado con el gasto y la velocidad de flujo en la campana.

El valor del gasto tiene que estar en m³/h.

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

8.2) Área de la sección transversal de la campana.

Para calcular esta área se requiere el valor del área del biorreactor y el área de la abertura y la expresión matemática es la siguiente:

$$A_{Campana} = A_R - A_{Abertura}$$

A partir de este valor se puede calcular el radio mayor de la campana, mediante la siguiente ecuación:

$$A_{Campana} = \pi R_{Campana}^2$$

Se puede entonces calcular el radio de la campana como se indica a continuación:

$$R_{Campana} = \sqrt{\frac{A_{Campana}}{\pi}}$$

8.3) Ancho de la abertura

El ancho de la abertura está relacionado con los radios del reactor y los de la campana, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$W_{Abertura} = R_{Reactor} - R_{Campana}$$

Se puede asumir para el diseño de la campana, que tanto el ancho mínimo interno de la campana (H_T) y la altura tope sobre la superficie del líquido son iguales a 2 cm.

8.4) Ángulo de inclinación de la campana.

El ángulo que se recomienda es de 60° debido a que ajusta de forma más adecuada a las condiciones de diseño, tanto de la campana como del tubo del reactor.

8.5) Altura de la campana.

Para calcular la altura de la campana se requiere conocer previamente la longitud que existe entre el extremo del radio mayor de la campana y el extremo de la abertura de la campana, para lo cual se presentan las siguientes expresiones:

$$W_G = R_{Campana} - \frac{1}{2}(W_{Abertura})$$

$$H_G = W_G * \tan\alpha$$

Donde α es el ángulo de inclinación de la campana.

8.6) *Traslapo.*

Se refiere a los deflectores que se colocan para dirigir los gases producidos hacia la campana y se pueda hacer la separación de los gases del líquido y sólidos.

$$T_V = 1.5 * (W_{Abertura})$$

8.7) *Ancho de los deflectores*

Se calcula de la siguiente manera:

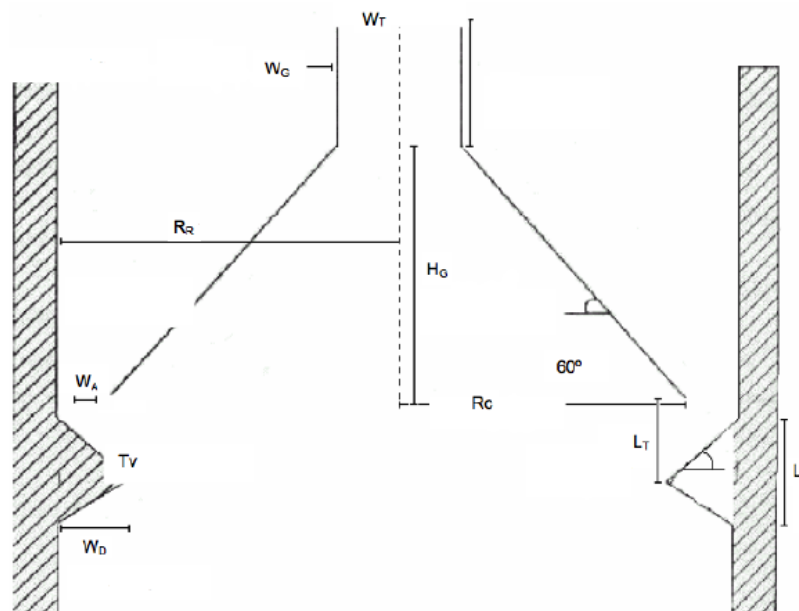
$$W_D = T_V + W_{Abertura}$$

8.8) *Longitud de los deflectores*

Esta longitud está en función de un ángulo, el cual, para facilitar la construcción se considera de 45 grados, por lo tanto, la expresión para su cálculo es la siguiente:

$$L_D = 2W_D * \tan 45^\circ$$

IMAGEN 05: Esquema de la campana separadora Gas-Líquido-Sólido.



Fuente: Márquez et al., 2011.

• **Construcción del biorreactor UASB.**

Se visitó las instalaciones del matadero municipal, para conocer e identificar el área donde se instaló el UASB. Para el área seleccionada, se tuvo en cuenta las siguientes condiciones:

- Un área de poca pendiente.
- El área deberá de estar cerca al efluente, con la finalidad de facilitar el uso del agua residual y su transporte hacia el tanque de almacenamiento.
- El cerco perimétrico, construido de ladrillos, ayudaría a la instalación de la plataforma en la que descansara el tanque de almacenamiento.

Luego de haberse identificado el área donde se instaló el UASB, se procedió a construir la planta piloto.

• **Puesta en marcha del biorreactor UASB.**

Para la puesta en marcha o arranque del Biorreactor, se utilizó rumen procedente del estómago del ganado vacuno, se colocó al interior del biorreactor y luego se procedió a abrir la válvula de ingreso de agua, iniciándose así el proceso de arranque.

• **Alimentación del biorreactor UASB.**

El biorreactor tipo UASB, es un tipo de biorreactor de flujo continuo, quiere decir que el caudal de ingreso es igual al caudal de salida, originándose de esta manera un consumo del agua que se encuentra almacenada en el tanque, en este sentido se procedió a abastecer de forma manual y diariamente el tanque elevado que se utilizó como tanque de almacenamiento, para esta actividad se utilizó baldes adecuados los que nos permitieron recolectar el agua residual que se produce en el establecimiento, para luego abastecer el tanque elevado; con la finalidad de no interrumpir con el sistema de la planta piloto y garantizar el buen funcionamiento.

• **Monitoreo de la variación del pH y Temperatura.**

Se monitoreó la variación del Ph y Temperatura, se tomarán muestras puntuales a la salida del biorreactor para ser analizadas in situ con la ayuda de un

equipo pH-metro, así mismo con la ayuda de un termómetro se midió la Temperatura. El monitoreo se realizó todos los días a las 13:00 horas del día, sin excepción, con la finalidad de determinar el comportamiento del pH y Temperatura. Esta actividad se realizó en la etapa de arranque y en la etapa de monitoreo del UASB.

• **Toma de muestras y envío a laboratorio.**

La toma de muestras para la determinación de los parámetros: DBO₅ y DQO, Pre y Post Tratamiento, se realizó con una frecuencia de 30 días en tres repeticiones. Se inició la primera toma de muestras a 30 días después de haberse completado la etapa de arranque o maduración del biorreactor.

Para la determinación de la concentración de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (NPK), en el Biol (efluente) y Biosol (Lodo); para esta actividad solo se tomó una muestra la cual se realizó al finalizarse el periodo de monitoreo.

Método de Recolección de Muestra.

Para el desarrollo de la presente investigación, se aplicó el Método de Muestro Manual, el cual requiere de un mínimo equipos y personal de muestreo.

Muestreo y Preservación de Muestras

El muestreo se llevó a cabo bajo los procedimientos e indicaciones establecidos por el Laboratorio regional del Agua – Cajamarca, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Enjuague de Recipientes:

Se utilizó recipientes nuevos esterilizados, los cuales antes de ser llenados, se procedió a enjuagarlos tres veces con el agua residual, este proceso se realizó para retirar cualquier elemento que se encuentre en el envase ajeno a la investigación, cabe recalcar este proceso es sugerido por los laboratoristas del Laboratorio Regional del Agua.

Medición de pH y Temperatura.

Una vez obtenida la muestra, se procedió a tomar la medición de los parámetros de pH y temperatura, y que estos parámetros son parámetros necesarios que tienen que ser medidos en campo. Según las indicaciones de los técnicos del laboratorio.

Añadidura de reactivos.

Luego de haber tomado la lectura de los parámetros de campo, se procedió a añadir los respectivos reactivos para conservar las muestras, según las indicaciones de los técnicos del laboratorio.

Cerrado y precintado.

Las muestras se cerraron convenientemente y se precintaron, en su caso, de formas que quede garantizada su inviolabilidad, Durante su transporte.

Rotulación.

Antes de la toma de la muestra se marcaron los frascos mediante rotulador resistente al agua (plumón indeleble), con una referencia que permita su identificación. En todo caso la muestra se acompañará de una ficha o etiqueta en la que se consignen los datos necesarios que, como mínimo, serán los siguientes:

- Identificado de la muestra (ID)
- Localización de la muestra.
- Fecha y hora de muestro.
- Parámetro según corresponda.

Acondicionamiento y conservación.

Una vez tomada la muestra se acondicionó de modo que quede en la oscuridad, debiendo remitirse cuanto antes al laboratorio (Colocación de las muestras en el Coolers). Conservando la temperatura con la ayuda de gel (hielo).

Consideraciones generales para la toma de Muestra.

- Antes de tomar una muestra, se deberá enjuagar por lo menos tres veces el recipiente con el agua de muestreo, a menos que este contenga algún agente preservante. Este procedimiento se conoce como purga de los recipientes.
- Cuando las muestras deben ser transportadas a grandes distancias, es conveniente dejar un espacio libre dentro del recipiente, de aproximadamente el 10% de su volumen, para que la expansión térmica no fracture los recipientes.
- Durante las operaciones de muestreo se deberá llevar un registro de cada muestra, en el que se especifique su identificación, el tipo de análisis para el cual se toma la muestra, el lugar, la fecha y la hora de la toma. Adicionalmente se deberá realizar una descripción de los aspectos relevantes encontrados en el sitio del muestreo, de tal forma que estos puedan atarse a los resultados analíticos.
- Se deberá marcar perfectamente las muestras, indicando en el formato el nombre y el número de la muestra, el sitio del muestreo, el tipo de análisis para el cual fue tomada y la fecha y hora en que se realizó el muestreo, entre otros.
- Algunos parámetros, cuyos valores cambian rápidamente con el tiempo, deberán ser medidos directamente en el sitio de muestreo, utilizando kits o equipos portátiles de análisis (temperatura, pH, gases disueltos, etc.).
- Otros parámetros deben ser fijados o preservados en campo, para su posterior análisis en el laboratorio. Tal es el caso de los nitratos, la DBO₅, la DQO, las pruebas bacteriológicas, etc.

Métodos utilizados

Los métodos aplicados para las mediciones insitu y análisis en laboratorio se basan en los consignados en el “Standard Methods for examination of water and wastewater - AWWA, APHA, WEF, ED 21 de 2 005”, estos se describen para cada parámetro a continuación (Ver Cuadro 03):

CUADRO 03: Métodos de ensayo.

ENSAYO	UNIDAD	METODO DE ENSAYO UTILIZADO
Temperatura	°C	Termométrico, Estandar Methods for exmanination of Water and Wastewater AWWA, APHA, WEF 2550 HB (ED 21 2005).
pH	---	Potenciómetro, Estandar Methods for exmanination of Water and Wastewater AWWA, APHA, WEF 4500 HB (ED 21 2005).
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chencial Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochenical Oxygen Demand (BOD). 5-day BOD Test.

Fuente: Resultados de laboratorio.

• Determinación de la producción de Biosol.

Teniendo en cuenta que el valor teórico de producción de lodo en base seca en el arranque de reactores anaerobios equivale al 2% de la DQO removida, se utilizó la siguiente ecuación para su cálculo:

$$PL \left(\frac{kg}{d} \right) = C \left(\frac{KgDQO}{d} \right) * Ef * 0.02$$

Donde:

PL = Producción de Lodos.

C= Carga DQO.

Ef = Eficiencia de Remoción de DQO (%100).

• Determinación de la producción de Biogás.

Entre más carga orgánica tenga un agua residual mayor cantidad de metano se generará por volumen de líquido tratado para proveer cantidades relativamente altas de energía que eleven la temperatura del líquido.

La cantidad de metano producida por unidad de DQO convertida en condiciones anaerobias es de 0.35 L CH₄/ g DQO en condiciones estándar (0°C a 1 atm). Para determinar la cantidad de metano en otras condiciones estándar se utilizó la ley universal de los gases:

$$\text{Ley Universal de los Gases: } V = \frac{nRT}{P}$$

Donde:

V = Volumen ocupado del gas (L).

N= Moles de gas (Moles).

R = Constante Universal de los Gases (0.082057 atm-l/mol-k).

T = Temperatura (°K).

P = Presión absoluta (atm).

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Una vez realizado el análisis de los datos obtenidos en campo, éstos fueron organizados y procesados en forma manual y electrónica construyendo tablas, gráficos estadísticos, entre otros. Todo ello para facilitar la evaluación e interpretación de los datos y resultados obtenidos.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados.

3.1.1. Características del agua residual del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba.

Se realizó la caracterización de las aguas residuales, el martes 31 de mayo del 2016. Las muestras fueron tomadas en horas de la mañana por el investigador, según las especificaciones para toma de muestras del Laboratorio regional del agua – Cajamarca, Acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL- DA, con registro N° LE-084. Los parámetros que se analizaron fueron: Potencial de hidrógeno (pH), Oxígeno disuelto (OD), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Los resultados obtenidos según el informe del laboratorio **IE 0616220** (Ver Anexo 09), se expresan en el siguiente cuadro:

CUADRO 04: Resultado de Laboratorio, Caracterización de las Aguas Residuales.

CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL MATADERO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE MOYOBAMBA.		
Parámetro	Unidad	Resultado
pH a 25°C	pH	7,62
Oxígeno Disuelto	mg/L	< LCM
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	898
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	4 976

Fuente: Informe de Laboratorio, IE 0616220.

Según los resultados de laboratorio obtenido para los siguientes parámetros, se puede determinar que: el pH se encuentra en un rango de 7,62; el Oxígeno Disuelto muestra un rango menor a <LCM, que se interpreta que la concentración del analíto en la muestra es menor al analíto de del laboratorio; la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) se encuentra en un rango de 898mg O₂/L; y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se encuentra establecida en 4976mg O₂/L; este último parámetro es muy importante ya que empleara para el dimensionamiento de Biorreactor tipo UASB.

3.1.2. Dimensionamiento y construcción del biorreactor tipo UASB piloto.

➤ Secuencia de cálculo para dimensionamiento del biorreactor UASB:

Para el diseño, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Se tomó como tiempo de residencia hidráulico inicial (TRH) 0.8 días. El TRH puede ser 1, 1,5 ó 2 días, pero por facilidad de seguimiento de las variables de proceso a nivel piloto es recomendable tomarlo como un día, y con base en estudios realizados en el Relleno Sanitario La Esmeralda decidimos tomarlo menor a un día (Caicedo., 2 006).
- El caudal de diseño se determinó teniendo en cuenta la capacidad total del biorreactor UASB, la capacidad de diseño del biorreactor es de 70 l/día, para esta capacidad se determina el caudal en ml/min según la siguiente fórmula:

Sabemos que:
$$Caudal = Q = 70 \frac{L}{día}$$

Convertimos a ml/min:
$$Q = 70 \frac{L}{día} * \frac{1000 ml}{1 L} * \frac{1 día}{1440 min}$$

Tenemos:
$$Q = 48.61 \frac{ml}{min}$$

De la ecuación obtenemos que el Caudal (Q) de diseño para el biorreactor UASB, fue de 48.61 ml/min.

- El biorreactor contó con una campana separadora Líquido-Gas-Sólido, pero no se diseñó un post tratamiento al biogás, solo se implementó un medio de almacenamiento, el cual fue una cámara de jebe.
- Teniendo en cuenta la concentración tan variable del lixiviado, se tomó como base de cálculo para el diseño 5Kg DQO/m³, basado en los resultados de la caracterización del agua residual del matadero municipal. (Fuente: Resultado de Laboratorio IE 0616220; Ver Anexo 09).
- El biorreactor tuvo una altura efectiva no inferior a 1,0 m de altura. Se ha encontrado en la literatura que en biorreactores UASB de baja altura, la producción de biogás es baja debido a la pérdida de lodo, ya que el burbujeo aumenta al incrementarse la carga, y al tener un recorrido tan corto se impide la separación de las dos fases presentándose en algunos casos el lavado (salida) completo del reactor. (Caicedo., 2 006).

La construcción del reactor se realizó con la colaboración y asesoría del Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez, quien posee una alta experiencia y conocimiento en el campo de la construcción de equipos a escala piloto.

Forma del Reactor.

Este diseño se puede hacer en forma rectangular o cilíndrica. Se escogió la forma cilíndrica en virtud de las obvias ventajas hidrodinámicas como, por ejemplo: la menor posibilidad de formación de zonas muertas, además del tamaño, volumen, carga y caudal que se propuso manejar.

➤ Cálculo basado en la carga orgánica y en el criterio de velocidad de flujo.

Para la determinación de la velocidad de flujo ascendente como uno de los parámetros de diseño, se partió de variables conocidas tales como: Área y volumen del reactor a partir del diámetro y la altura efectiva, carga típica máxima de diseño y concentración promedio de lixiviado. Con estos datos se realizó el diseño de una manera satisfactoria, de la siguiente forma:

1) Definición de los parámetros de diseño.

TABLA 03: Parámetros de Diseño.

VARIABLES CONOCIDAS - PARÁMETROS DE DISEÑO			
Díámetro de la Tubería (cm)	Caudal de diseño (ml/min)	Carga Orgánica (Kg DQO/m ³ d)	Tiempo de Residencia Hidráulico (TRH) (d)
21,20	48,61	5,00	0,8

Fuente: Elaboración Propia.

2) Cálculo del volumen del biorreactor (VR):

$$\text{Fórmula: } V_R = TRH * Q$$

Reemplazamos:

$$V_R = 0,8d * 48,61 \frac{ml}{min} * 1440 \frac{min}{d} * \frac{1L}{1000ml}$$

$$\text{Obtenemos: } V_R = 56,66 L.$$

3) Cálculo el área del biorreactor (A_R):

$$\text{Fórmula: } A_R = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$\text{Reemplazamos: } A_R = 3,14159265 * \frac{21,20 \text{ cm}^2}{4}$$

$$\text{Obtenemos: } A_R = 352,99 \text{ cm}^2$$

4) Cálculo de la altura efectiva del biorreactor (L):

$$\text{Fórmula: } L = \frac{4 * V_R}{\pi * D^2}$$

Reemplazamos valores:

$$L = \frac{4 * 56,00 \text{ L}}{3,14159265 * 21,20^2 \text{ cm}^2} * \frac{1 \text{ 000 cm}^3}{1 \text{ L}}$$

$$\text{Obtenemos: } L = 158,64 \text{ cm}$$

5) Cálculo de flujo másico (F):

$$\text{Fórmula: } F = V_R * \text{Carga } DQO_5$$

Reemplazamos:

$$F = 56,00 \text{ L} * 5 \frac{\text{Kg}DQO_5}{\text{m}^3 \text{ dia}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1 \text{ 000 L}}$$

$$\text{Obtenemos: } F = 0,280 \frac{\text{Kg}DQO_5}{\text{dia}}$$

6) Cálculo de la carga hidráulica (C_H):

$$\text{Por Fórmula: } C_H = \frac{Q}{A_R}$$

Reemplazamos valores:

$$C_H = \frac{48,61 \frac{\text{ml}}{\text{min}}}{352,99 \text{ cm}^2} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$\text{Obtenemos: } C_H = 0,083 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

Este resultado garantiza incrementos mayores de carga orgánica sin exceder la carga hidráulica típica, la cual es de 1m/h. pues este es el valor típico recomendado para un correcto funcionamiento.

7) Cálculo de velocidad de flujo de campana (V_F):

$$\text{Por F\u00f3rmula: } V_F = 4 * CH$$

$$\text{Reemplazamos valores: } V_F = 4 * 0,083 \frac{m}{h}$$

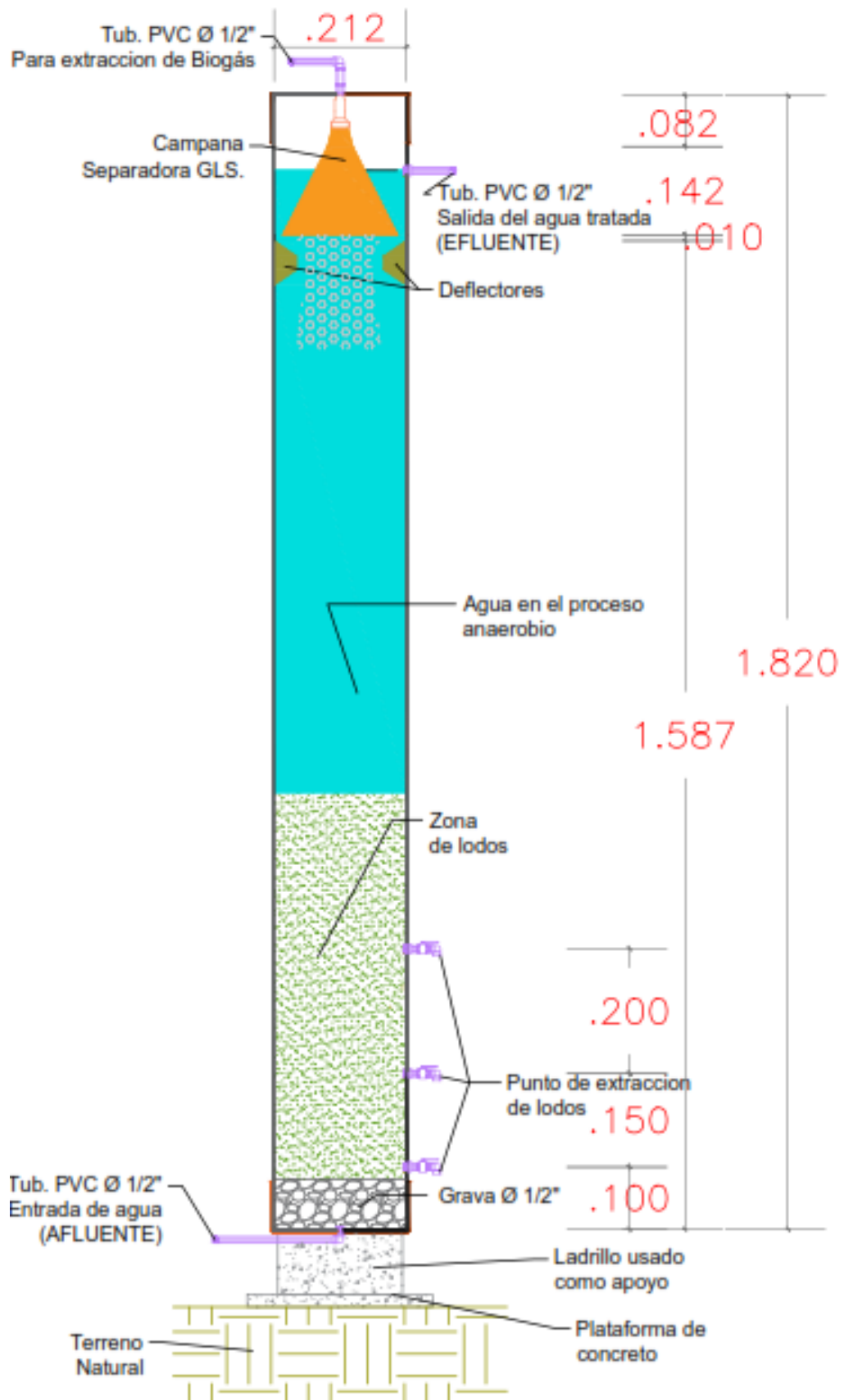
$$\text{Obtenemos: } V_F = 0,332 \frac{m}{h}$$

CUADRO 05: Resultados del Dimensionamiento del UASB.

DISE\u00d1O DEL UASB.		
Caudal de ingreso	Q	70,00 L/d\u00eda 48,61 ml/min
Tiempo de retenci\u00f3n hidr\u00e1ulica	TRH	0,80 d\u00eda 19,20 horas.
Volumen del reactor	V	0,056 m ³ 56,00 L
\u00c1rea transversal del reactor	A	0,035 m ² 352,99 cm ²
Altura activa del reactor	H _s	1,5865 m 158,65 cm
Di\u00e1metro	D	21,2cm
Carga hidr\u00e1ulica	Ch	0,083 m ³ /hora
Velocidad de flujo de la campana	V _F	0,331 m/hora

Fuente: C\u00e1lculo de Dise\u00f1o. Elaboraci\u00f3n Propia.

IMAGEN 06: Resultados del diseño del UASB.



Fuente: Cálculo de Diseño. Elaboración Propia.

8) Campana separador Gas-Líquido-Sólido (GLS).

Otra parte importante y crítica en el diseño de un biorreactor UASB es la campana o separador GLS, el cual es fundamental para lograr un buen funcionamiento del biorreactor a fin de mantener un lodo sedimentable (en su mayoría granular), un efluente clarificado (libre de gases) y unos gases adecuadamente separados.

Objetivos de la campana separador GLS

Los objetivos a lograr con la implementación de las campanas para los biorreactores son:

- Separación y descarga adecuadas del biogás.
- Permitir el deslizamiento del lodo dentro del compartimiento de digestión.
- Servir como una clase de barrera (stopper) para expansiones excesivas rápidas del manto de lodos (en su mayoría), dentro del sedimentador.
- Prevenir el lavado (salida) de lodo granular flotante (y floculento).

Para la construcción del separador GLS se tienen en cuenta parámetros recomendados por la literatura, los cuales indican que la campana convencional es la mejor estructura, gracias a su fácil construcción, simplicidad de instalación, funcionamiento y eficiencia. Los aspectos a tener en cuenta en el diseño de las campanas son:

- La velocidad de flujo ascendente en la abertura.
- La carga hidráulica superficial.
- El ángulo de los lados de la campana.
- El traslapeo vertical.

Todos estos criterios no son de ninguna manera inflexibles, ya que pueden ajustarse entre sí de acuerdo a las proporciones del reactor. Los parámetros básicos de diseño para la campana GLS fueron:

8.1. Cálculo del área de abertura ($A_{ABERTURA}$):

$$\text{Por F\acute{o}rmula: } A_{ABERTURA} = \frac{Q}{V_F}$$

Reemplazamos valores

$$A_{ABERTURA} = \frac{48,61 \frac{ml}{min} * \frac{60 min}{1 h} * \frac{1 L}{1000 ml} * \frac{1 m^3}{1000 L}}{0,332 \frac{m}{h}}$$

$$\text{Obtenemos: } A_{ABERTURA} = 8,801 * 10^{-3} m^2 * \frac{10000 cm^2}{1 m^2}$$

$$\text{Obtenemos: } A_{ABERTURA} = 87,85 cm^2$$

8.2. Cálculo del área de la sección transversal de la campana ($A_{CAMPANA}$):

$$\text{Por Fórmula: } A_{CAMPANA} = A_R - A_{ABERTUR} = \pi R_{CAMPANA}^2$$

Reemplazamos Valores:

$$A_{CAMPANA} = 352,99 cm^2 - 87,85 cm^2 = \pi R_{CAMPANA}^2$$

$$\text{Obtenemos: } A_{CAMPANA} = 265,14 cm^2 = \pi R_{CAMPANA}^2,$$

Despejamos Radio: $R_{CAMPANA}$

$$\text{Obtenemos: } R_{CAMPANA} = \sqrt{\frac{265,14 cm^2}{\pi}}$$

$$\text{Obtenemos: } R_{CAMPANA} = 9,19 cm$$

En donde: $R_{CAMPANA}$, es el Radio Mayor de la Campana. Por lo tanto, $A_{CAMPANA}$ sería:

$$A_{CAMPANA} = 265,14 cm^2$$

8.3. Cálculo del ancho de la abertura entre la campana y el biorreactor (W_A):

$$\text{Por Fórmula: } W_A = R_R - R_C$$

Reemplazamos Valores:

$$W_A = 10,60 cm - 9,19 cm$$

$$\text{Obtenemos: } W_A = 1,41 cm$$

Se asumieron para el diseño, tanto el ancho mínimo interno de la campana ($W_T = 2,00 cm$) y la altura tope del separador (H_T) GLS, sobre la superficie del líquido iguales a 2 cm. Por lo tanto:

8.4. Cálculo de la altura del separador (W_G):

$$\text{Por Fórmula: } W_G = R_R - W_A - 0,50 * (H_T),$$

Reemplazamos Valores:

$$W_G = 10,60 cm - 1,41 cm - 0,50 * (2,00 cm),$$

Obtenemos: $W_G = 8,19 \text{ cm}$

Ángulo de inclinación de la campana: el ángulo elegido para la campana fue de 60° debido a que se acomodaba mejor a las condiciones de diseño, tanto de la campana como de la tubería.

8.5. Cálculo de la altura de la campana (H_G):

*Por Fórmula: $H_G = W_G * \tan \alpha$,*

Reemplazamos Valores:

$$H_G = 8,19 \text{ cm} * \tan 60^\circ = 8,19 \text{ cm} * 1,732051$$

Obtenemos: $H_G = 14,18 \text{ cm}$

8.6. Cálculo de la altura de traslapo (T_V):

*Por Fórmula: $T_V = 1,50 * W_A$*

Reemplazamos Valores:

$$T_V = 1,50 * 1,41 \text{ cm}$$

Obtenemos: $T_V = 2,12 \text{ cm}$

8.7. Cálculo el ancho de los deflectores (W_D):

Por Fórmula:

$W_D = T_V + W_A$, Reemplazamos Valores:

$$W_D = 2,1 \text{ cm} + 1,41 \text{ cm}, \text{ Obtenemos}$$

$$W_D = 3,53 \text{ cm}$$

8.8. Cálculo de la longitud de los deflectores (L_D):

*Por Fórmula: $L_D = 2 W_D * \tan 45^\circ$*

Reemplazamos Valores:

$$L_D = (2 * 3,53 \text{ cm}) * 1,00$$

Obtenemos: $L_D = 7,06 \text{ cm}$

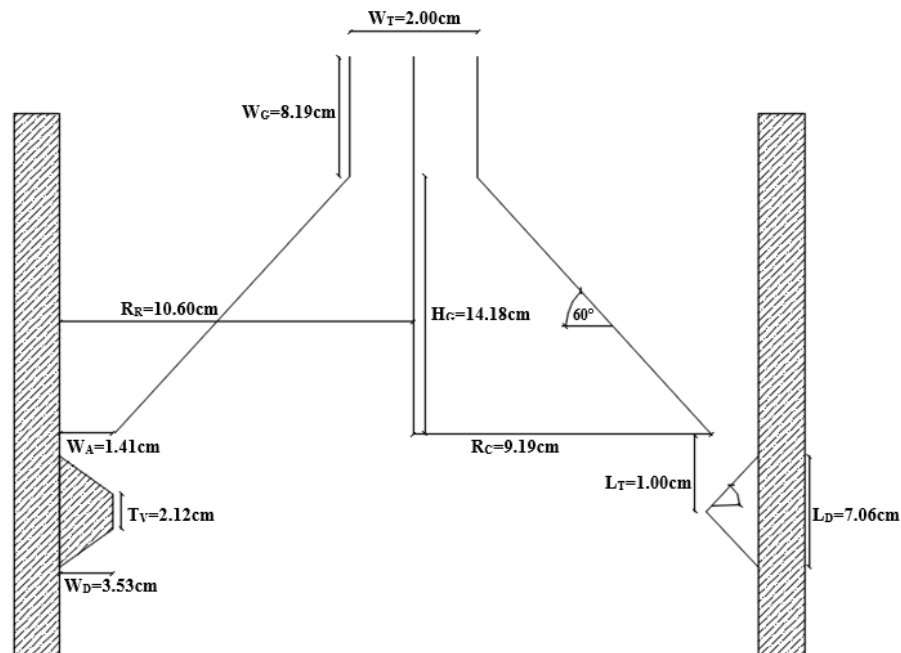
La campana o separador de GLS, quedo dimensionada de la siguiente forma:

CUADRO 06: Resultados del Dimensionamiento de la campana separadora de GLS.

SEPARADOR GAS – LIQUIDO - SÓLIDO		
Área de abertura	$A_{Abertura}$	0,008785m ² 87,85cm ²
Área de la sección transversal de la campana	$A_{Campana}$	0,0265m ² 265,14cm ²
Radio de la campana	A_C	0,0919 m 9,19 cm
Ancho de la abertura	W_A	0,0141m 1,41cm
Se asumieron para el diseño, tanto el ancho mínimo interno de la campana (H_t) y la altura tope del separador GLS, sobre la superficie Del líquido iguales a 2cm. Por lo tanto:		
	W_G	0,0819m 8,19 cm
Angulo de inclinación de la campana: El ángulo elegido de la campana fue de 60° debido a que se acomodaba mejor a las condiciones de diseño, tanto de la campana de la tubería		
Altura de la campana	H_G	14,18cm
Traslapo	T_V	2,12cm
Ancho de los deflectores	W_D	3,53cm
Longitud de los deflectores	L_D	7,07cm

Fuente: Cálculo de diseño. Elaboración Propia.

IMAGEN 07: Resultados del dimensionamiento de la campana separadora de GLS.



Fuente: Cálculo de Diseño. Elaboración Propia.

Donde:

R_R = Radio del Reactor

R_C = Radio de la Campana

W_A = Ancho de la Abertura

H_G = Altura de la Campana

H_T = Ancho Interno de la Campana (min. 2cm)

T_V = Traslape (1,5 W_A)

W_D = Ancho de los Deflectores

L_D = Longitud de los Deflectores

➤ **Puesta en marcha del biorreactor UASB (Arranque).**

El arranque del UASB, se inició mediante la inoculación de del Biorreactor con 14 litros de mezcla de agua residual y rumen de vaca en una proporción de 1:5; se adiciono 10 gramos de levadura de pan por cada litro de mezcla, con la finalidad de acelerar el tiempo de arranque. El volumen del inoculo corresponde al 25% del volumen total del biorreactor.

Las condiciones iniciales para la puesta en marcha del reactor fueron las siguientes:

CUADRO 07: Condiciones iniciales del arranque del UASB.

CONDICIONES INICIALES DEL ARRANQUE DEL UASB	
Día de arranque	14 de julio del 2016
Caudal de arranque	25 ml/min
DQO lixiviado alimentado	5 000 mg O ₂ /L
Tiempo de residencia (TRH)	0,80 días

Fuente: Elaboración Propia.

Durante el proceso de arranque, se monitorearon los parámetros de Temperatura y pH; se consideró que el tiempo de arranque o maduración que empleo el biorreactor es de 48 días para esta investigación.

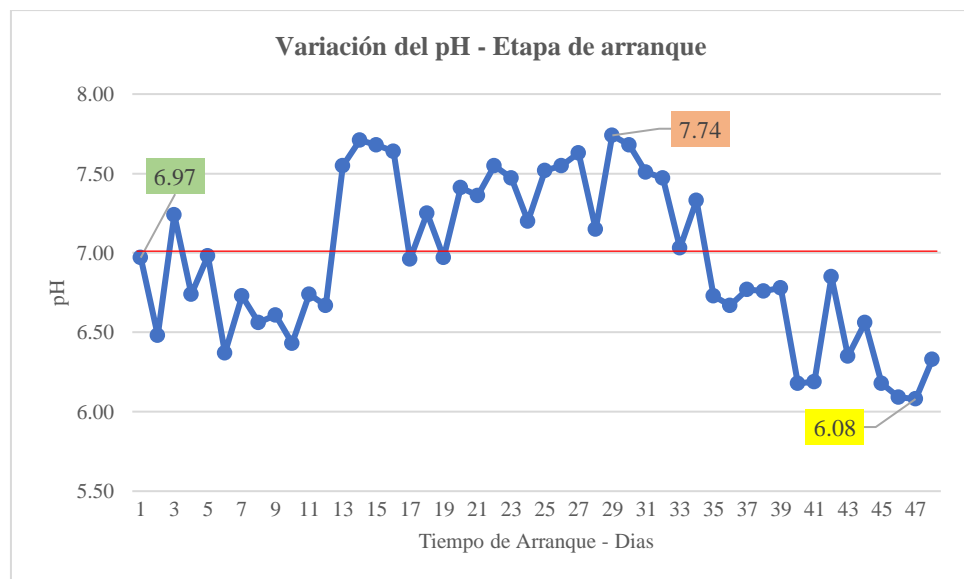
3.1.3. Resultados de los parámetros de Monitoreo:

3.1.3.1. Etapa I: Monitoreo del arranque del UASB.

La etapa de arranque tuvo una duración de 48 días, tiempo el cual utilizo el UASB para alcanzar la etapa de maduración. Durante este tiempo se monitorearon los parámetros de pH y Temperatura. Los resultados obtenidos se observan en los siguientes gráficos:

1) Monitoreo de pH.

GRÁFICO 01: Variación del pH post tratamiento - Etapa de arranque.

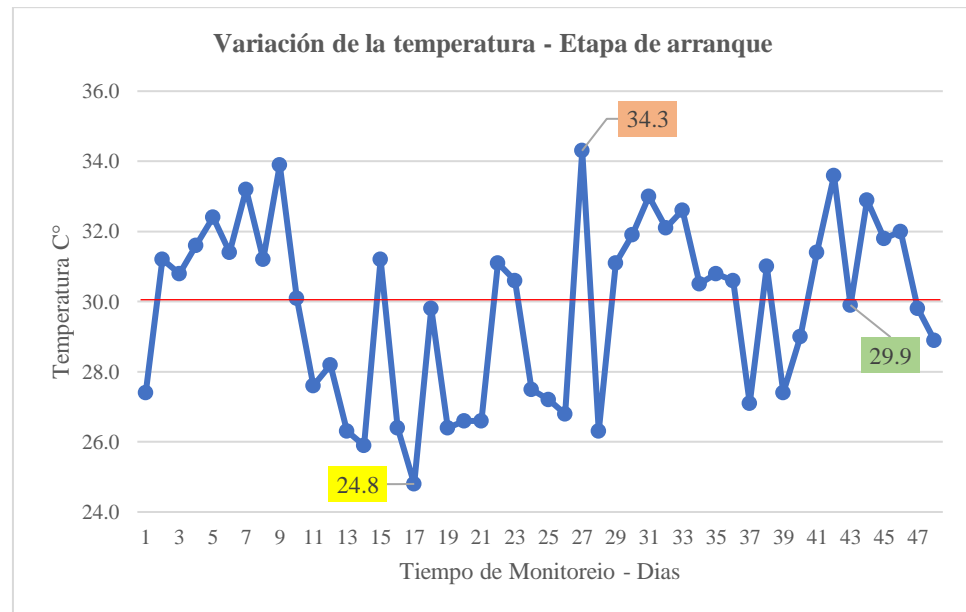


Fuente: Datos de campo. Elaboración propia; Ver Anexo 01.

En la etapa de arranque, el pH en el UASB, vario entre un pH máximo de 7,74 y un pH mínimo de 6,08; con un pH promedio cercano al neutro con un valor de 6,97. La línea roja indica el valor de pH neutro.

2) Monitoreo de la Temperatura °C.

GRÁFICO 02: Variación de la Temperatura (°C) post tratamiento - Etapa de arranque.



Fuente: Datos de campo. Elaboración propia; Ver Anexo 01.

En la etapa de monitoreo, la Temperatura en el UASB, vario entre un máximo de 34,3°C y mínimo de 24,8°C, con una temperatura promedio de 29,9°C. se observa que la temperatura promedio se mantuvo cercano a 30°C.

Durante el proceso de arranque se puede observar lo siguiente:

TABLA 04: Variación del pH y Temperatura durante el proceso de arranque.

VARIACIÓN DEL pH Y TEMPERATURA		
	pH	Temperatura (°C)
Máxima	7.74	34.3
Media	6.97	29.9
Mínima	6.08	24.8

Fuente: Datos de campo. Elaboración propia.

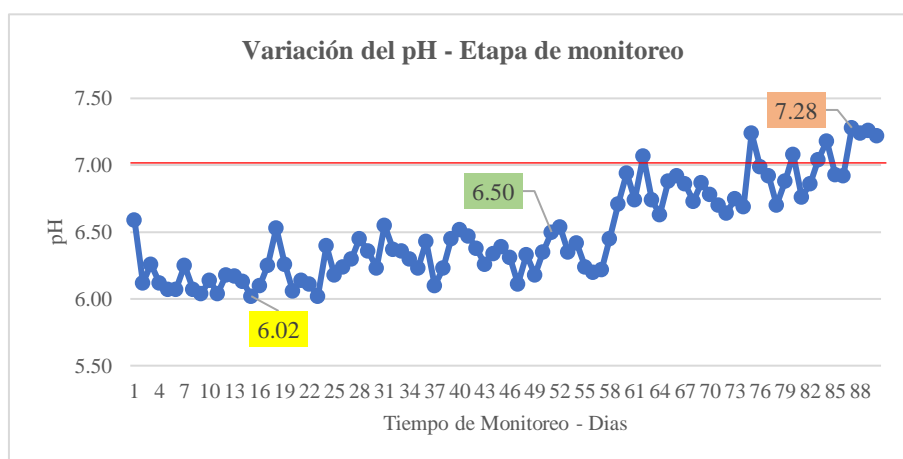
3.1.3.2. Etapa II: Monitoreo del funcionamiento del UASB.

En la etapa del funcionamiento se monitorearon los parámetros de pH, Temperatura, DBO₅, DQO; todo esto durante 90 días de monitoreo, los resultados fueron los siguientes:

1) Monitoreo de pH y Temperatura.

a) Variación del pH – Etapa de monitoreo.

GRÁFICO 03: Variación del pH post tratamiento - Etapa de monitoreo.

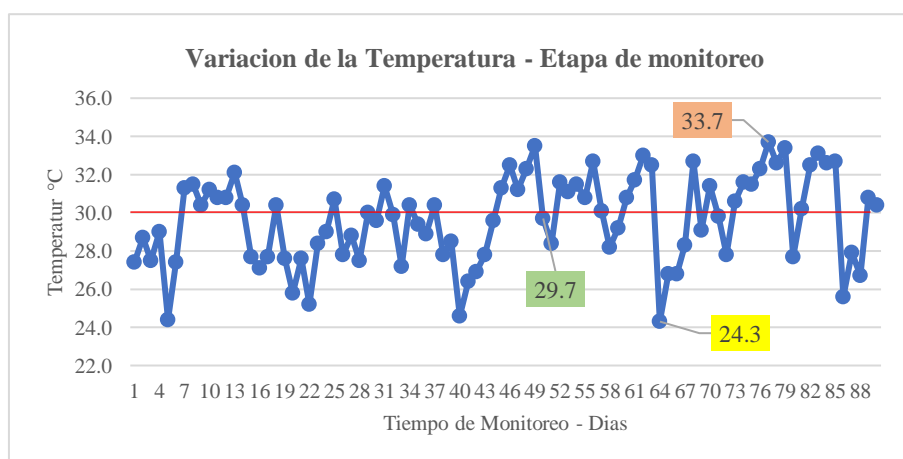


Fuente: Datos de campo. Elaboración propia; Ver Anexo 02.

En la etapa de Monitoreo, el pH en el UASB, vario entre un pH máximo de 7,28 y un pH mínimo de 6,02, con el valor del pH promedio de 6,50. Se puede observar según el Gráfico 03; manteniéndose en un pH cercano al neutro.

b) Variación de la Temperatura (°C) - Etapa de monitoreo.

GRÁFICO 04: Variación de la Temperatura post tratamiento - Etapa de monitoreo.



Fuente: Datos de campo. Elaboración propia; Ver Anexo 02.

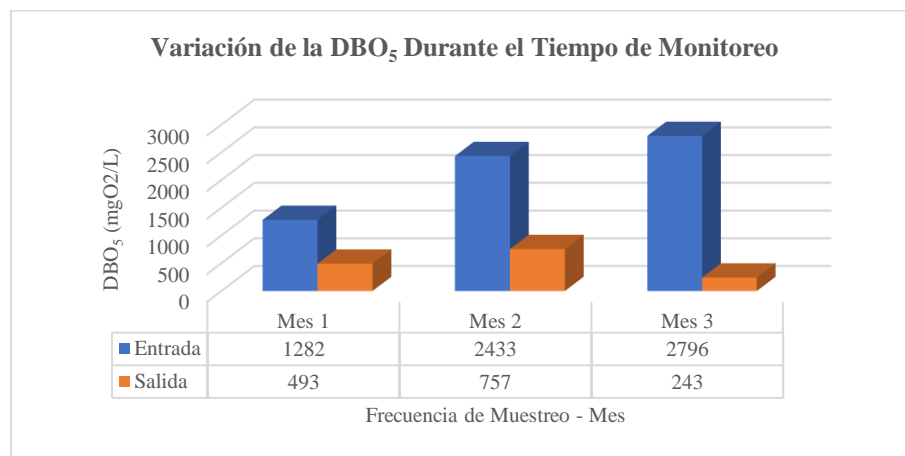
En la etapa de monitoreo, según el Gráfico 04 la Temperatura en el UASB, vario entre un máximo de 33,7°C y mínimo de 24,3°C, con una temperatura promedio de 29,7°C. la temperatura promedio se mantiene

cercano a 30°C. Se observa en el Gráfico 04, que la mayor temperatura se registra en los últimos 30 días de monitoreo.

2) *Monitoreo del comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).*

a) Variación de la DBO₅ – Etapa de monitoreo.

GRÁFICO 05: Variación de la DBO₅ - Pre y post tratamiento.



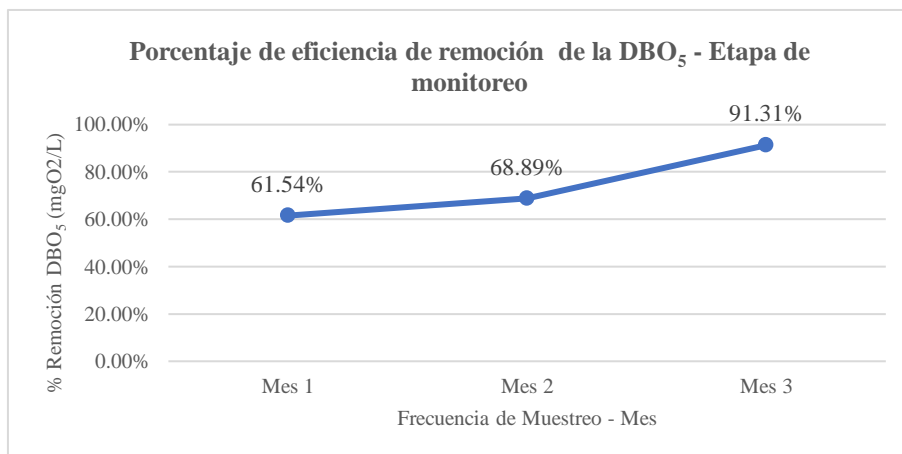
Fuente: Resultados de Laboratorio. Elaboración propia.

En el Gráfico 05 se observa los rangos de la concentración registrados de la DBO₅ durante el pre tratamiento (Barras de color azul), se puede observar que la mayor concentración se registró en el Mes 3, con una concentración de 2 796mgO₂/L; y la mínima concentración fue registrada en el Mes 1 con un valor de 1 282mgO₂/L.

En el Gráfico 05 se observa los rangos de la concentración registrados de la DBO₅ post tratamiento (Barras de color anaranjado), se observa la máxima concentración se registró en el Mes 2, con una concentración de 757mgO₂/L; en el Mes 3 se registró una mínima con un valor de 243mgO₂/L.

b) % Eficiencia de la remoción de la carga orgánica en el UASB, expresada como DBO₅.

GRÁFICO 06: Porcentaje de eficiencia de la remoción de la DBO₅ – Etapa de monitoreo.



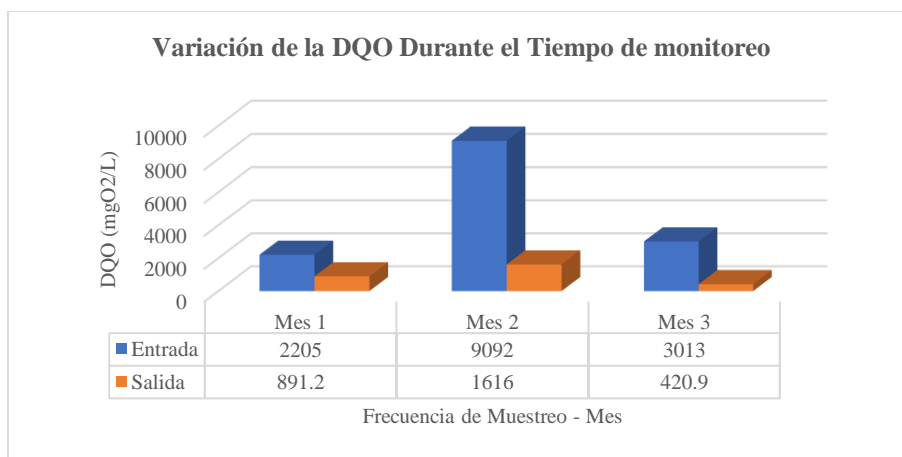
Fuente: Resultados de Laboratorio. Elaboración propia.

En el Gráfico 06 se puede apreciar el porcentaje de remoción de la carga orgánica expresada como DBO₅. Se observa que la curva característica presenta es una curva ascendente, iniciando con un porcentaje de remoción de 61,54% en el Mes 1, finalizando con un porcentaje de remoción máximo del 91,31% registrada en el Mes 3.

3) Monitoreo de la Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

a) Variación de la DQO – Etapa de monitoreo.

GRÁFICO 07: Variación de la DQO – Pre y post tratamiento.



Fuente: Resultados de Laboratorio. Elaboración propia.

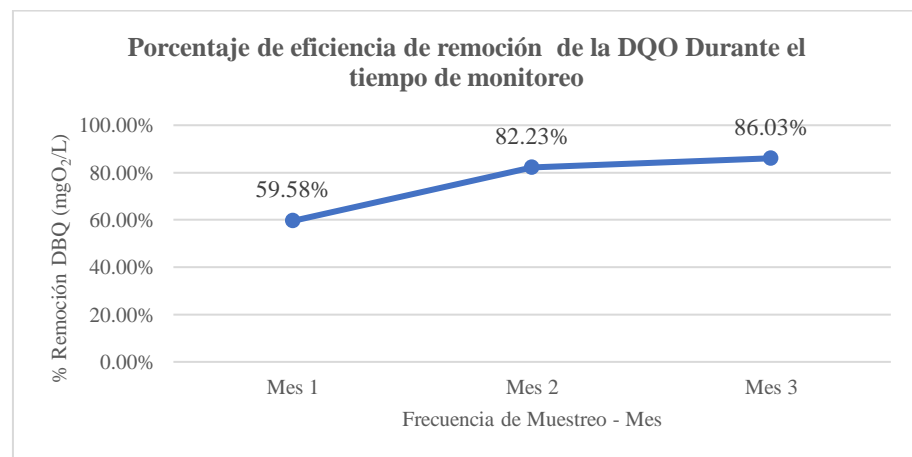
En el Gráfico 07 se observa los rangos de concentración de la DQO registrados durante el pre tratamiento (Barras de color Azul), el menor

valor registrado fue en el Mes 1 con un valor de 2 205mgO₂/L, y el máximo valor se registró el Mes 2 con un valor de 9 092mgO₂/L. en el Mes 3 se registró un valor de 3 013mgO₂/L.

Las concentraciones post tratamiento (Barras de color Anaranjado) también se aprecia en el Gráfico 07. Se observa que la máxima concentración de la carga orgánica expresada como DQO fue registrada en el Mes 2, con un valor de 1 616mgO₂/L; en el Mes 3 se registró la mínima concentración de la DQO con un valor de 420,9mgO₂/L; y en el Mes 1 la concentración registrada de la DQO fue de 891,2mgO₂/L.

b) Porcentaje de eficiencia de la remoción de la carga orgánica en el UASB, expresada como DQO.

GRÁFICO 08: Porcentaje eficiencia de la remoción de la DQO.



Fuente: Resultados de Laboratorio. Elaboración propia.

En el Gráfico 08 se puede apreciar el porcentaje de remoción de la carga orgánica expresada como DQO. Se observa que la curva característica presenta es una curva ascendente, iniciando con un porcentaje de remoción de 59,58% en el Mes 1, finalizando con un porcentaje de remoción máxima de 86,03% registrada en el Mes 3. En el Mes 2 se registró un porcentaje de remoción del 82,23%.

4) *Contrastación de los resultados obtenidos con la normativa vigente.*

CUADRO 08: Contrastación de los resultados con la normatividad vigente.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES.					
Muestreo	Parámetro	Unidad	Valor Según D.S.	Valor del Efluente	Condición Sí Cumple/No Cumple
Mes 1	pH	pH	6,5 – 8,5	6,55	Si Cumple
	T°	°C	< 35	31,40	Si Cumple
	DBO ₅	mgO ₂ /L	500	493	Si Cumple
	DQO	mgO ₂ /L	1 000	891,2	Si Cumple
Mes 2	pH	pH	6,5 – 8,5	6,94	Si Cumple
	T°	°C	< 35	30,8	Si Cumple
	DBO ₅	mgO ₂ /L	500	757	No Cumple
	DQO	mgO ₂ /L	1 000	1 616	No Cumple
Mes 3	pH	pH	6,5 – 8,5	7,22	Si Cumple
	T°	°C	< 35	30,3	Si Cumple
	DBO ₅	mgO ₂ /L	500	243	Si Cumple
	DQO	mgO ₂ /L	1 000	429,9	Si Cumple

Fuente: Resultados de laboratorio.

3.1.3.3. Determinación de la Producción de Biol.

1) *Producción de Biol.*

Aproximadamente el 90% del material que ingresa al Biorreactor se transforma en Biol (Aparcana., 2 008). El biol es el efluente líquido que se descarga frecuentemente de un digestor y por medio de filtración y floculación se separa la parte líquida de la sólida (Stobbia et al., 2 003).

La producción de Biol se determinó por el volumen del Biorreactor. Para esta investigación el volumen de funcionamiento es de 50L/día. Para la determinación de la producción de Biol se aplicó la siguiente fórmula:

$$PB_L \left(\frac{L}{Día} \right) = Q \frac{L}{Día} * 90\%$$

$$PB_L \left(\frac{L}{Día} \right) = 50 \frac{L}{Día} * 0,90$$

$$PB_L \left(\frac{L}{Día} \right) = 45 \frac{L}{Día}$$

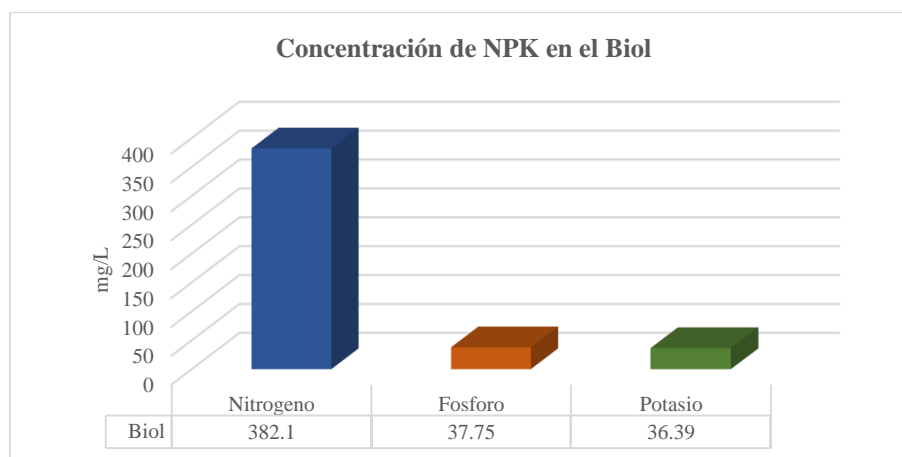
En donde:

PBL =Producción de Biol.

Q = Caudal l/Día.

2) *Determinación de las concentraciones de Nitrógeno, Fosforo y Potasio.*

GRÁFICO 09: Concentración de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el Biol.



Fuente: Resultados de laboratorio; Ver Anexo 14.

De acuerdo con el Gráfico 09, se puede observar que las concentraciones de Nitrógeno, fosforo y Potasio en el Biol o efluente; se observa que el Biol tiene un alto contenido de Nitrógeno con un valor de 382,1mg/L, la concentración de fosforo con un valor de 37,75mg/L, y la concentración de potasio con un valor de 36,39mg/L. de acuerdo a estos valores obtenidos podemos observar que el Biol tiene un contenido muy elevado de Nitrógeno. Se puede observar una diferencia entre las concentraciones de Nitrógeno y las concentraciones de Fosforo y potasio.

3.1.3.4. Determinación de la producción de Biosol.

1) *Producción de Biosol.*

La producción de Biosol, se determinó teniendo en cuenta que el valor teórico de la producción de lodo en base seca en el arranque de reactores anaerobios equivalente al 2% de la DQO removida (Sierra y Vivas, 2005), se utilizó la siguiente formula:

$$PL \left(\frac{Kg}{Día} \right) = C \left(Kg \frac{DQO}{Día} \right) * Ef * 0,02$$

En donde:

PL =Producción de Lodo.

C = carga DQO Kg/Día.

Ef = Eficiencia de Remoción de DQO (%).

TABLA 05: Producción de Biosol.

PERIODO DE MONITOREO	CARGA DQO KG/DÍA	% EFICIENCIA DE REMOCIÓN	PRODUCCIÓN DE LODOS KG/DÍA
Mes 01	0,2205	0,5958	0,00232
Mes 02	0,9092	0,8223	0,01495
Mes 03	0,3013	0,8603	0,00518

Fuente: Elaboración propia.

Y en base Húmeda, asumiendo el 98% de humedad y el 2% de Sólidos (Sierra y Vivas, 2005), tenemos:

$$PL_W \left(\frac{Kg}{Día} \right) = \frac{PL}{0,02}$$

En donde:

PL = Producción de Lodo.

PLW =Producción de Lodo Sólido.

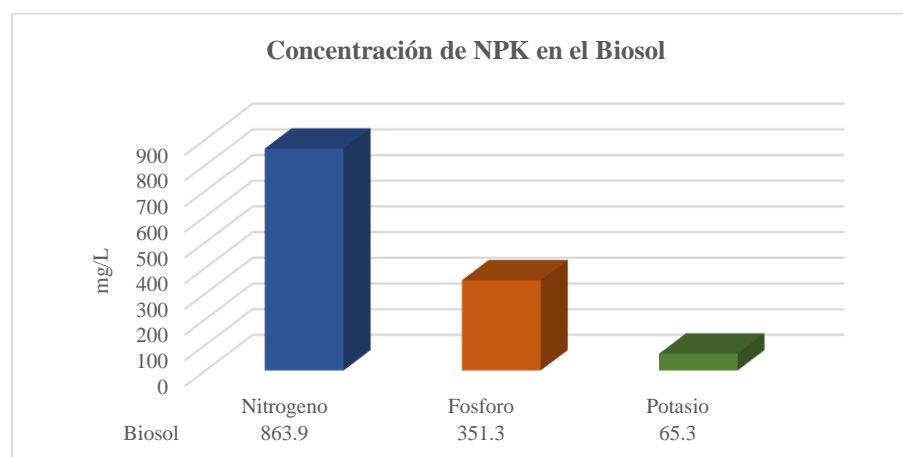
TABLA 06: Producción de Biosol en estado Sólido.

PERIODO DE MONITOREO	PRODUCCIÓN DE LODOS KG/DÍA	% LODO SÓLIDO	PRODUCCIÓN DE LODOS KG/DÍA	PRODUCCIÓN DE LODOS KG/MES
Mes 01	0,00232	0,02	0,1160	3,48
Mes 02	0,01495	0,02	0,7475	22,43
Mes 03	0,00518	0,02	0,2590	7,77
Producción Promedio			0,3742	11,227

Fuente: Elaboración propia.

2) *Determinación de las concentraciones de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el Biosol.*

GRÁFICO 10: Concentración de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en el Biosol.



Fuente: Resultados de laboratorio; ver Anexo 13.

De acuerdo con el Gráfico 10, se puede observar que las concentraciones de Nitrógeno, fosforo y Potasio en el Biosol obtenido como producto del proceso anaerobio; se observa que el Biosol tiene un alto contenido de Nitrógeno con un valor de 863,9mg/L, la concentración de fosforo con un valor de 351,3mg/L, y la concentración de potasio con un valor de 65,3mg/L. de acuerdo a estos valores obtenidos podemos observar que el Biosol tiene un contenido muy elevado de Nitrógeno.

3.1.3.5. Determinación de la producción de Biogás.

La cantidad de metano producida por unidad de DQO convertida en condiciones anaerobias es de 0,35 L CH₄/ g DQO en condiciones estándar (0°C a 1atm). Para determinar la cantidad de metano en otras condiciones estándar se utiliza la Ley Universal de los Gases, para saber el volumen del gas ocupado por 1mol de metano a la temperatura en cuestión. Se emplea las siguiente formula:

$$V = \frac{nRT}{P}$$

En donde:

V = Volumen ocupado de gas, L.

n = Moles de gas, moles.

R = Constante universal de los gases, 0.082057 atm-L/mol-K

T = Temperatura en kelvin. °K.

P = Presión absoluta, atm.

Así, para la presente investigación, se considera la temperatura promedio del periodo de monitoreo del UASB, el cual es de 29,9°C. Para la aplicación de la fórmula es necesario la conversión de °C a °K; para este caso 29,9°C + 274,15°K = 304,05°k. Tenemos que el volumen ocupado por 1mol de metano a 29,9°C es:

$$V = \frac{1mol * \left(0,082057 \frac{atm - L}{mol - ^\circ K}\right) * (304,05^\circ K)}{1atm}$$

$$V = 29,94L$$

Dado que para la producción de 1mol de CH₄ se consume 64gr de O₂ es decir se generan 64gr de DQO de demanda; convertida bajo

condiciones anaerobias a 29,9°C es igual a 0,47 L como se ve a continuación:

$$PM = \frac{29,94L}{64 \frac{gr DQO}{mol CH_4}} = 0.47 \frac{L CH_4}{g DQO}$$

En donde:

PM = Producción De Metano.

3.1.4. Análisis estadístico de la prueba piloto.

La prueba estadística que se desarrolló para validar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, correspondientes a la DBO₅ y DQO. Se realizó por medio de la prueba estadística de distribución t- Student (ver anexo 05), se pudo analizar las eficiencias de remoción de DBO₅ y DQO. En el Anexo 06 y 07, se presenta el consolidado de los resultados de la prueba estadística aplicada mediante el programa SPSS para Windows. Los resultados se muestran a continuación:

1) Análisis estadístico de la eficiencia de la remoción de DBO₅.

Los valores de la media y la desviación estándar de la DBO₅ resultantes de la distribución t-Student se presentan en la Tabla 07.

TABLA 07: Valores de media y desviación estándar de DBO₅ en el UASB.

MEDICION		N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
DBO ₅	ENTRADA	3	2 170,33	790,44
	SALIDA	3	497,37	257,03

Fuentes. Elaboración propia.

En el proceso estadístico que se sigue para la toma de decisiones a partir de la información de la muestra, se llevó a cabo un contraste de hipótesis comparando el valor del estadístico experimental con el valor teórico y rechazando o no la hipótesis nula; de tal manera que, analizando los resultados obtenidos de la distribución t-Student, se realizaron las siguientes hipótesis y afirmaciones:

- Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia entre las concentraciones de la carga orgánica expresada como DBO_5 presente en el afluente, y la concentración de la carga orgánica expresada como DBO_5 presente en el efluente del UASB.
- Hipótesis alternativa (H_1): Existe diferencia entre las concentraciones de la carga orgánica expresada como DBO_5 presente en el afluente, y la concentración de la carga orgánica expresada como DBO_5 presente en el efluente del UASB.
- El valor obtenido de la t_0 fue de 3,486 y de la P correspondió al 0,0126.

Donde,

$t_0 = t$ -Student

P = probabilidad que se presente un valor menor o mayor (grados de libertad); por tanto, representa el nivel de significancia

Se rechaza la H_0 con un nivel de significancia de 5%; por lo tanto, se acepta H_1 y se puede decir, que hay evidencia estadística suficiente para afirmar que durante el monitoreo del UASB, si existe una diferencia estadísticamente significativa de la concentración de la materia orgánica expresada como DBO_5 , presente en el afluente y efluente.

2) Análisis estadísticos de la eficiencia de la remoción de DQO.

Los valores de la media y la desviación estándar de la DQO resultantes de la distribución t-Student se presentan en la Tabla 08.

TABLA 08: Valores de media y desviación estándar de DQO en el UASB.

	MEDICION	N	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR
DQO	ENTRADA	3	4 700,00	3 754,70
	SALIDA	3	976,03	602,05

Fuentes. Elaboración propia.

Mediante la TABLA N°08, se observa la diferencia de medias de la concentración de la DQO presente en el agua residual; se observa que la media del agua residual de entrada al UASB, presenta un alto valor con relación a la concentración de la carga orgánica expresada como DQO con un valor de 4 7000mgO₂/L, diferenciándose con la concentración de la carga

orgánica expresada como DQO presente en el agua residual de la salida, el cual presenta un valor $976,03\text{mgO}_2/\text{L}$. por lo que se puede afirmar que si existe una diferencia de medias en la concentración de la carga orgánica expresada como DQO presente en el agua residual de entrada con relación al agua residual de salida.

3.2. Discusiones.

Castillo et al, (2010), en su investigación menciona que, utilizar el líquido rumial como inóculo en un biorreactor UASB modificado para el tratamiento de aguas residuales de rastro, obtuvo en ambos casos períodos de arranque cortos de 74 y 54 días respectivamente. Se realizó una mezcla con agua residual, haciendo una proporción de 2:3 de líquido rumial y agua residual respectivamente (Méndez et al., 2013). Para esta investigación se observó que el tiempo de arranque del UASB es de 48 días, para el arranque se utilizó líquido rumial como inóculo, con una proporción de 1:5 de agua residual y líquido rumial, se adiciono 10gr de levadura de pan por cada litro de mezcla obtenido. El tiempo de maduración es considerablemente corto.

El rango de pH osciló entre 6,2 a 7,7 para el efluente durante el tiempo de operación del reactor. La tendencia fue muy similar en ambos casos, pues se mantenían casi constantes (Méndez et al., 2013). Se sabe que el rango óptimo de pH para tratamientos anaerobios es cercano a la neutralidad para su correcto desarrollo (Clark y Speece., 1989). En el UASB, el pH varió entre 6,1 y 8,3. El pH disminuye conforme pasa el tiempo debido a que se aumentó el % de concentración del desagüe industrial (De la Cruz, et al. 2011). Según la teoría, el rango de pH recomendable para una planta de lodos activados es de 6,5 a 8,5 (Spencer, 1990; Huidobro et al., 1993; Calderón y Ramírez, 2004).

El pH registrado en la presente investigación osciló en un valor de 7,74 a 6,08 en la etapa de arranque, considerando un promedio de 6,97; y 7,28 a 6,02 en la etapa de monitoreo, considerando un promedio de 6,5; se observa que el pH promedio se mantiene en un valor cercano al neutro en los dos tiempos de la presente investigación, el cual es un pH donde proliferan las bacterias Metanogénicas, las cuales son las productoras de Biogás. Si durante la fase de hidrólisis, acidificación y acidogénesis el pH cae por debajo de 6,3 como resultado de la sobre existencia de ácidos grasos volátiles (AGV), la población de bacterias metanogénicas experimenta una reducción, ya que son altamente sensibles a los cambios de pH, además habrá una cantidad de mayor de AGV que serán transformados en acetato y las bacterias metanogénicas tendrán un sustrato (Carrillo., 2003).

En esta investigación no se observó un decaimiento en la producción de Biogás en consecuencia del comportamiento del pH, ya que los valores promedios obtenidos se encuentran cercanos a un pH neutro, el cual se reflejan el comportamiento de las bacterias acidogénicas y acetogénicas en la producción de acetato, que es la principal fuente de metabolismo para las bacterias metanogénicas, las cuales tienen como resultado la producción de Biogás. Pelczar y Reid (1958) citado por García et al., (2005), menciona que la disminución del pH según el tiempo de fermentación puede ser consecuencia de la producción de ácidos grasos de cadenas cortas, que inhiben o eliminan los microorganismos que crecen a pH más neutros, por lo cual se deduce que el proceso no llegó a la fase acetogénicos ni metanogénicos cuyos pH varían entre 6,5 y 7,5 (Martí, 2006).

Las bacterias Mesofílicas a una temperatura optima de 25°C a 35°C, tienen un rango del tiempo de fermentación anaerobia de 30 a 60 días (Lagrange., 1979). En la presente investigación, los registros de temperatura en la etapa de arranque oscilan entre 34,3°C a 24,8°C con un promedio de 29,9. El cual es una temperatura óptima para el proceso de fermentación anaerobia, teniendo como resultados un acelerado periodo de arranque, el cual se refleja en la presente investigación con un periodo de arranque de 48 días.

La remoción en el sistema de la carga orgánica expresada como DBO₅ alcanza un valor máximo de 92%, aumentando progresivamente desde el inicio del arranque (Caicedo., 2006). En esta investigación se alcanzó una remoción máxima de 91,31% de la carga orgánica expresada como DBO₅, contrastándose con el valor de la resultante de la distribución t-Student estadísticamente representa con un valor significativo; por lo tanto, se puede decir que hay evidencia estadística y grafica (Ver Gráfico 06), suficiente para afirmar que existe una eficiencia en la remoción de la DBO₅ en un biorreactor tipo UASB.

Haciendo una comparación global, en las remociones obtenidas de la concentración de DQO; en el estudio de Méndez et al., 2013, se obtuvo una baja eficiencia de remoción de 60,20%, cuando otros estudios han reportado

eficiencias mayores o iguales a 80%. En esta etapa se llegó a valores de carga hasta 9KgDQO/m³.dia en promedio y la eficiencia de remoción en un principio se mantuvo a 80% (Caicedo., 2006). Con respecto a la carga contaminante, se puede decir que se presenta una remoción progresiva en los dos reactores, observándose un comportamiento similar en cuanto a la tendencia creciente de la eficiencia y el porcentaje de remoción, ya que el promedio de remoción de DQO para el UASB fue de 41,0% y para el RFP fue de 60,0% Analizando los dos reactores, se puede observar que se alcanzaron eficiencias de remoción de 41% en el UASB, El valor de la resultante de la distribución t-Student estadísticamente representa un alto valor; por lo tanto, se puede decir que hay evidencia estadística suficiente para afirmar que en promedio la eficiencia de remoción de DQO es menor en un UASB que para un RFP (Sierra y Vivas., 2005).

En la presente investigación se registra una eficiencia en remoción de la DQO del 86,03% lo cual está ligeramente cercano a la eficiencia en la remoción según Caicedo (2006) y Méndez et al., (2013). Al realizarse la comparación de la diferencia de medias, se puede observar que existe una diferencia entre el valor de la concentración de la materia orgánica expresada como DQO del afluente y la concentración de la materia orgánica expresada como DQO en efluente, en el tratamiento del agua residual mediante un biorreactor UASB. Lo cual concuerda con lo mencionado por Sierra y Vivas (2005); así mismo De la Cruz et al., (2011) menciona que la eficiencia máxima del UASB a una concentración diluida del desagüe de pasta de pota al 40% es de 94,91% para la remoción de la DQO, sin embargo, cuando la dilución es la 100% la eficiencia disminuye.

La producción obtenida de Biol y Biosol, muestran características como Biofertilizante. El Biosol obtenido en esta investigación muestra una concentración rica en Nitrógeno, Fosforo y Potasio con una concentración de 863,9mg/L, 351,3mg/L y 65,3mg/L respectivamente; y el Biol obtenido en la presente investigación muestra una concentración de Nitrógeno, Fosforo y Potasio con concentraciones de 382mg/L, 37,75mg/L y 36,39mg/L respectivamente.

Varnero (2011), menciona que el biol y biosol es altamente considerable para el uso en la agricultura. expresa: la productividad sostenida en el manejo de la fertilidad natural del suelo, propio de una agricultura autosustentable, permite disminuir la dependencia de fertilizantes químicos, disminuyendo costos de producción y minimizar el impacto de la explotación sobre el ecosistema. La incorporación de residuos orgánicos agropecuarios al suelo, para mejorar la fertilidad y, por lo tanto, su productividad, depende del valor fertilizante que tengan los abonos orgánicos adicionados, especialmente en términos de Nitrógeno, como también de las exigencias nutricionales que presente el cultivo.

Mediante la adopción una nueva práctica de manejo de la agricultura con el uso de abonos orgánicos, permitirá generar beneficios hacia el medio ambiente, disminuyendo la contaminación de fuentes de agua originadas por la escorrentía y lixiviación del uso excesivo de abonos inorgánicos. De acuerdo con los resultados obtenidos en investigaciones, se ha demostrado que el Biol y Biosol conserva Nitrógeno en forma fácilmente asimilable para las plantas, los cuales enriquecen este residuo y lo hacen propicio para su uso en la agricultura. Vinicio (2002), según estudios agronómicos indican que las hojas pueden actuar como superficies para la absorción de fertilizantes foliares y otros productos sistemáticos, la efectividad varía con la especie y las sustancias involucradas, además de la duración del proceso de absorción fluctúan en un amplio rango.

Se evaluó la calidad de biogás y biol en biodigestores tubulares tipo Taiwán de PVC de 0.5 mm de espesor con dos tratamientos: uno con una relación estiércol y agua de 1:4 y otro con 1:5, a los 40 días se puede decir que el metano alcanza estabilizarse en las dos mezclas alcanzando a partir de allí un promedio de 52% de CH₄ y 37,4% de CO₂ en la mezcla 1:4 y un promedio de 53% de CH₄ y 36.9% de CO₂ en la mezcla 1:5 (Quipuzco et al., 2011).

La producción estimada de Biogás en la presente investigación a una Temperatura promedio de 29,9°C, es de 0,47LCH₄/gr DQO. Durante el periodo

de arranque se observó que en los primeros 10 días no se observó producción de Biogás en cámara de almacenamiento, posteriormente durante el monitoreo de los días 11 a 35 se observó un aumento progresivo pero muy lento de la producción de Biogás, durante el monitoreo de los días 36 a 48 se observó que se produce un fuerte aumento de la producción de Biogás (ver Anexo 21), el cual indica que la actividad microbiana anaerobia se está adaptando a la materia orgánica, generando la degradación de este último.

En la presente investigación no se realizó la evaluación del poder calorífico del Biogás, se comprobó que mediante el tratamiento de las aguas residuales en un UASB si es posible la obtención de Biogás (Ver Anexo 22), el cual se puede emplear como fuente de energía para realizar diferentes actividades que se requieran de su uso en las instalaciones del matadero, como son: Cocción de viseras, pelado de cerdos, entre otros.

3.3. Conclusiones.

Mediante el sistema de UASB empleado para el tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, se registró resultados satisfactorios en remoción de carga contaminante, presentándose eficiencias en remoción de DBO₅, y DQO, con cargas orgánicas en promedio de 5000mgO₂/L, y con un tiempo de retención de 0,8 días, permitiendo dar un Tratamiento integral a las aguas residuales y obteniendo productos como Biol, Biosol y Biogás.

Se realizó el dimensionamiento de un Biorreactor tipo UASB a escala piloto, para dar tratamiento integral a las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, el biorreactor fue diseñado tomando en cuenta una forma cilíndrica.

Se dio tratamiento al agua residual obteniendo una remoción eficiente de la carga orgánica expresada como DBO₅ del 73,91%. Con un promedio de 497,03mgDBO₅/L en el efluente.

Se dio tratamiento de al agua residual obteniendo una remoción eficiente de la carga orgánica expresada como DQO del 75,95 %. Con un promedio de 976,03mgDBO₅/L en el efluente.

Se logró obtener abonos Orgánicos, como Biol, el cual tiene una concentración de Nitrógenos (382,10mg/L), Fosforo (37,75mg/L) y Potasio (36,39mg/L); Biosol con concentraciones de Nitrógenos (863,90mg/L), Fosforo (351,10mg/L) y Potasio (65,3mg/L), los cuales son aptos para usos agrícolas. Así mismo se obtuvo energía renovable como es el Biogás, el cual tiene una producción promedio de 0,47LCH₄/gr DQO, el cual se convierte en una potencial de aprovechamiento energético.

3.4.Recomendaciones.

A la municipalidad provincial de Moyobamba, la importancia de la instalación de una plata tipo UASB, para tratar de manera integral las aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Moyobamba, ya que mediante la presente investigación se ha demostrado la eficiencia de este sistema en la remoción de la carga orgánica presente en el agua residual, obtenido resultados favorables, contribuyendo de esta manera a la conservación del medio ambiente.

Realizar un estudio para el aprovechamiento de los abonos orgánicos obtenidos, como son el biol y biosol; ya que demostraron tener fuentes ricas en Nitrógeno, Fosforo y Potasio. Con la finalidad de recomendar su uso en la agricultura.

Para las próximas investigaciones, prolongar el tiempo de monitoreo de 3 meses, con el objetivo de ampliar la secuencia de muestreo y obtener muestras homogéneas para que los resultados puedan ser validados mediante pruebas estadísticas.

Realizar un análisis de laboratorio, para poder determinar el valor calórico del biogás obtenido, con el objetivo de recomendar su uso.

Se recomienda en las futuras investigaciones implementar un contador de Biogás, para de esta manera poder determinar la producción de Biogás, y los resultados puedan ser contrastado con los resultados de los cálculos.

Para las futuras investigaciones, se recomienda la instalación de un sistema de sedimentación antes del ingreso al UASB para evitar obstrucciones en las tuberías de abastecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AGRICULTURA. (2012). Reglamento Sanitario de Animales del Faenado de Animales de Abasto. D.S. 015-2012-AG. Lima, Perú. p 2-61.
- Alfaro, C. (2012). “Metodología de Investigación Científica aplicado a la ingeniería”. Instituto de investigación de la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica. Callao, Lima, Perú. p 10-77.
- Aparcana, S. (2008). “Estudio Sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso Fermentación Anaerobica para Producción de Biogás”. Lima, Perú. p 2-8.
- Arango, O.; Sánchez, L. (2009). “Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB”. Universidad de Nariño. Pasto – Colombia. p 1-7.
- Batstone, D. J. et al. (2002). “The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1)”. Water Science and Technology, Vol. 45, No. 10, 65 – 73, 2002.
- Benavides, L. (2006). “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la central de sacrificio de Túquerres (Nariño)”. Universidad nacional de Colombia, sede Manizales especialización en Ingeniería Ambiental, Área Sanitaria. p 8-36.
- Bermúdez, R. C.; Rodríguez, S.; Martínez, M. De La C.; Terry, A. (2003). “Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás”. Centro de Estudios de Biotecnología Industrial, Universidad de Oriente, Apartado Postal 4011, CP. 90400, Santiago de Cuba, Cuba. p 1-7.
- Caicedo, F. J. (2006). “Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados”. Tesis de Especialidad en Ingeniería Ambiental-Área Sanitaria. Universidad Nacional de Colombia. p 2-40.
- Calderón, C. y Ramírez, E. (2004). “Sistemas Integrados de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reúso para un Medio Ambiente Sustentable”. Tomo I. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. pp. 258-282.
- Carrillo, L. (2003). “Microbiología Agrícola”. Universidad Nacional de Salta. Disponible en:
<<<http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricontenido.pdf>>>
Recuperado el 8 de enero de 2010.”
- Castillo E., Koh A., Méndez R. Y Caballero N., (2010). “Tratamiento de aguas residuales de rastro mediante un reactor UASB”. Memorias del IX Congreso

- Internacional y XV Congreso Nacional de Ciencias Ambientales, Chetumal, México.
- Castillo, E. F., Solano, J. K., Y Rangel, M. P. (2006). "Evaluación operacional de un sistema a escala laboratorio de biopelícula anaerobia soportada para el tratamiento de aguas residuales domésticas". Revista ION. Vol. 19. No. 1. 18-22.
- Chen, Z., Hu, D., Zhang, Z., Ren, N., Zhu, H. (2009). Modeling of two-phase anaerobic process treating traditional chinese medicine wastewater with the IWA anaerobic digestion model No. 1 *Bioresource Technology*, 10(20), 4044-31
- Chen. Y., Cheng, J. J., Y Creamer, K. S. (2008). "Inhibition of Anaerobic Digestion Process: a Review". *Bioresource Technology*, 99(10), 4044-64. citadp por mendez novelo. 2013.
- Clark R.H., Speece R.E. (1989). "The pH tolerance of Anaerobic Digestion. *Advanced water Pollution Research*". 27/1-27/14.
- CNPL. (2001). "Casos Exitosos en Producción limpia. Industria Procesadora de Carne". Centro Nacional de Producción Limpia. Chile. p 2-8.
- Conil, Ph. (2000). "Avances conceptuales para el tratamiento de las aguas residuales domésticas (ARD) en el trópico, y estudio de casos". Revista "Gaceta Ambiental" # 13, Acodal (Colombia). p 5-24.
- De La Cruz, L.; Orellana, V. (2011). "Caracterización del desagüe industrial de la pasta de pota para la remoción de la carga orgánica utilizando un sistema combinado de UASB y lodos activados". Universidad nacional de ingeniería, Lima, Perú. p 11-161.
- Díaz, M., Espitia, S. Y Molina, F. (2002). "Digestión Anaerobia una Aproximación a la Tecnología". UNIBIBLIOS. Bogotá, Colombia. p 41-96
- Ferrer, I., Martí, I. (2008). "Study of the effect of process parameters on the thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge, evaluation of a termal sludge pre - treatment and overall energetic assessment". PhD tesis de la Universidad Autónoma de Barcelona. España. 13 - pp"
- Flotats, X., Bonmatí, A., Campos, E., Teira, M.R. (2000). "El proceso de secado de purines en el marco de gestión integral de residuos ganaderos". *Residuos*, 53:40-46.

- García, Yaneisy; Elías, A.; Herrera, F.R. (2005). "Dinámica microbiana de la fermentación in vitro de las excretas de gallinas ponedoras". *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 39, núm. 1, pp. 75-79.
- Gibson, G. (1990). "Physiological and ecology of the sulfate-reducing bacteria". A review. *Journal Applied Bacteriology*, 69:769-797.
- Giraldo, I. (1995) "Manual de análisis de aguas". Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de ciencias. p 3-6.
- Guevara, A. (1996). "Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales". Lima. 73 p.
- Hilbert, J. (2006). "Manual para producción de biogás. Instituto de Ingeniera rural". I.N.T.A Castelar. Buenos Aires, Argentina. 4- 14pp.
- Huidobro M, Flores A, López S, Pérez D. (1993). "Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Lodos Activados". Inst. Mexicano de Tecnología del Agua. México. pp. 16-28.
- Lagrange, B. (1979). "Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation". Vol.2. Edisual Energies Alternatives. 249pp.
- Madigan, M., J. Martinko Y J. Parker. (2004). "Biología de los microorganismos". Décima edición. Pearson Educación S.A., Madrid. 1096 p.
- Martí, N. (2006). "Phosphorus precipitation in Anarobic Digestion Process". Boca Raton. Florida, USA. 4-15pp.
- Méndez R., Chan E., Castillo E., Vázquez E. Y Espadas A., (2012). "Digestión anaerobia de efluentes de fosas sépticas, *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología*". ISSN: 1405-7743, XIII (3) 283-293.
- MINAN. 2010. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. "Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales". Lima, Perú. p 1-3.
- Munch, E. et al. (1996). "Simultaneous Nitrification and Denitrification in Bench-Scale Sequencing Bartch Reactors. Simultaneous Nitrification and Denitrification". *Wat. Res.* Vol 30.
- Novelo, R., Mena, R., Borges, E., Riancho, M. (2013). "Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal". Yucatán, México. p 42-52.
- Noyola, A. (1995). "Diseño, inoculación y arranque de reactores UASB. En: *Memorias del III Taller y seminario Latinoamericano de Tratamiento*

- anaerobio de aguas residuales". Universidad de la República (Editor). Montevideo, Uruguay. p 4-6.
- Orozco, A., y Giraldo, E. (1986). "Tratamientos Anaerobios de la Aguas Residuales". Publicaciones del CIFI, Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes. Santafé de Bogotá. A.A. 4976. p 3-14.
- Pacheco J., y Magaña, A. (2003). "Arranque de un Reactor Anaerobio. Ingeniería Académica". UADY, (7), 21-25.
- Pavlostathis, S. y Giraldo-Gómez, E. (1991). "Kinetics of anaerobic treatment: a critical review". Critical reviews in environmental Control 21, pp. 411– 490.
- Pelczar, M.J. Jr. y Reid, R.D. (1958). "Microbiology. McGraw-Hill Book Company". Inc. New York, EUA. 64 p.
- Pérez, M. (2002). "Remoción De Fosforo Y Nitrógeno En Aguas Residuales Utilizando Un Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)". Cancún, México. p 2-7.
- Pochana, K., and Jurg. S. (1.999). "Study of Factors Affecting Simultaneous Nitrification and Denitrification (SND)". Wat. Sci. Tech. Vol. 39.
- Quipuzco, L., Baldeon, W., Tang, O. (2011). "Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC". Tingo María, Perú. p 2-8.
- Ramírez, O., y Koetz, P. (1998). "Evaluación de un reactor UASB para el tratamiento de efluentes de la industria de aceite de arroz". V taller y Seminario Latinoamericano de Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Viña del Mar, Chile.
- Rivera, V. (2010). "Estudio cinético de la digestión anaeróbica termofílica de pollinaza a escala piloto". Tesis de Maestría Ciencias en Bioprocesos. Instituto Politécnico Nacional. La laguna de Ticoman, México.
- Rodríguez, J. (2006). "Arranque y operación de Reactores Anaerobios. Ingeniería Sanitaria". Colombia. p 1-15.
- Roy, F., Albagnac, G., y Samain, E. (1985). "Influence of Calcium Addition on Growth of Higly Purified Syntrophic Cultures degrading Long-Chain Fatty Acids". Applied and Environmental Microbiology, 49(3): 702-705
- Ruiz De Huidobro, F., y Cañeque, V. (1993). "Producción de carne en corderos de raza Manchega. II. Conformación y estado de engrasamiento de la canal y

- proporción de piezas en distintos tipos comerciales”. Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim. 8:233-245.
- Schnürer, A., Zellner, G., y Svensson, B.H. (1999). “Mesophilic Syntrophic acetate oxidation during methane formation in biogas reactors”. FEMS Microbiology Ecology. 29(3): 249-261
- Sierra, D., y Vivas, C. (2005). “Diseño e implementación de una unidad piloto de tratamiento Biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero de Macanal (Corpochivor)”. Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y sanitaria - Bogotá, D.C. p 95-124.
- Spencer, R. (1990). “Food waste composting in Canada. ByoCycle”. 2: 30-38.
- Stobbia D; B. Viera Fernández y A. Ledesma. (2003). “Biomasa de Residuos Sólidos Orgánicos para la producción de Bioenergía (biogás) con transferencia a la Comuna de General Fotheringham”. Córdoba, Argentina. Revista Nexo Agropecuario Vol. 1 N 2 2013.
- Van Haandel, A., y Lettinga G. (1994). “Tratamiento Anaerobio de Esgotos”. Editora EPGRAF. Campiña Grande, Brasil.
- Varnero, M.T. (2001). (Desarrollo de substratos: Compost y Bioabonos). In: Experiencias Internacionales en la Rehabilitación de Espacios Degradados. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Publicaciones Misceláneas Forestales N° 3, 123p. 21-30.
- Vinicio, F. (2002). Aspectos Mecanismos de absorción de nutrimentos por el follaje. Seminario de Fertilización foliar: Principios y Aplicaciones. Laboratorio de Suelos y Foliar en colaboración con la Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. p. 1-6.
- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., y Jones, D.L. (2008). “Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources”. Bioresource Technology, (99817): 7928-40.

ANEXOS

Anexo 01: Registro del monitoreo de pH y Temperatura (°C). Etapa de arranque.

DÍAS	TIEMPO DE MONITOREO (MES)			
	JULIO		AGOSTO	
	pH	°C	pH	°C
1	-	-	7,25	29,8
2	-	-	6,97	26,4
3	-	-	7,41	26,6
4	-	-	7,36	26,6
5	-	-	7,55	31,1
6	-	-	7,47	30,6
7	-	-	7,20	27,5
8	-	-	7,52	27,2
9	-	-	7,55	26,8
10	-	-	7,63	34,3
11	-	-	7,15	26,3
12	-	-	7,74	31,1
13	-	-	7,68	31,9
14	-	-	7,51	33,0
15	6,97	27,40	7,47	32,1
16	6,48	31,20	7,03	32,6
17	7,24	30,80	7,33	30,5
18	6,74	31,60	6,73	30,8
19	6,98	32,40	6,67	30,6
20	6,37	31,40	6,77	27,1
21	6,73	33,20	6,76	31,0
22	6,56	31,20	6,78	27,4
23	6,61	33,90	6,18	29,0
24	6,43	30,10	6,19	31,4
25	6,74	27,60	6,85	33,6
26	6,67	28,20	6,35	29,9
27	7,55	26,30	6,56	32,9
28	7,71	25,90	6,18	31,8
29	7,68	31,20	6,09	32,0
30	7,64	26,40	6,08	29,8
31	6,96	24,80	6,33	28,9

Fuente: Datos de campo obtenidos en la presente investigación. Elaboración propia.

Anexo 02: Registro del monitoreo de pH y Temperatura (°C). Etapa de monitoreo.

DÍAS	TIEMPO DE MONITOREO (MES)					
	SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE	
	pH	°C	pH	°C	pH	°C
1	6,59	27,4	6,55	31,4	7,07	33,0
2	6,12	28,7	6,37	29,9	6,74	32,5
3	6,26	27,5	6,36	27,2	6,63	24,3
4	6,12	29,0	6,30	30,4	6,88	26,8
5	6,07	24,4	6,23	29,4	6,92	26,8
6	6,07	27,4	6,43	28,9	6,86	28,3
7	6,25	31,3	6,10	30,4	6,73	32,7
8	6,07	31,5	6,23	27,8	6,87	29,1
9	6,04	30,4	6,45	28,5	6,78	31,4
10	6,14	31,2	6,52	24,6	6,70	29,8
11	6,04	30,8	6,47	26,4	6,64	27,8
12	6,18	30,8	6,38	26,9	6,75	30,6
13	6,17	32,1	6,26	27,8	6,69	31,6
14	6,13	30,4	6,34	29,6	7,24	31,5
15	6,02	27,7	6,39	31,3	6,99	32,3
16	6,10	27,1	6,31	32,5	6,92	33,7
17	6,25	27,7	6,11	31,2	6,70	32,6
18	6,53	30,4	6,33	32,3	6,88	33,4
19	6,26	27,6	6,18	33,5	7,08	27,7
20	6,06	25,8	6,35	29,7	6,76	30,2
21	6,14	27,6	6,50	28,4	6,86	32,5
22	6,11	25,2	6,54	31,6	7,04	33,1
23	6,02	28,4	6,35	31,1	7,18	32,6
24	6,40	29,0	6,42	31,5	6,93	32,7
25	6,18	30,7	6,24	30,8	6,92	25,6
26	6,24	27,8	6,20	32,7	7,28	27,9
27	6,30	28,8	6,22	30,1	7,24	26,7
28	6,45	27,5	6,45	28,2	7,26	30,8
29	6,36	30,0	6,71	29,2	7,22	30,4
30	6,23	29,6	6,94	30,8	-	-
31	-	-	6,74	31,7	-	-

Fuente: Datos de campo obtenidos en la presente investigación. Elaboración propia.

Anexo 03: Valores Máximos Admisibles para Aguas Residuales.

VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMESTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO			
Parámetro	Unidad	Expresión	VMA para Descarga.
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DQO	1 000

Fuente: Decreto supremo N° 021-2009-VIVIENDA

Anexo 04: Valores Máximos Admisibles para Aguas Residuales.

APRUEBAN LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O MUNICIPALES			
Muestreo	Unidad	Parámetro	LMP para Descarga.
Temperatura	°C	°C	<35
pH	unidad	pH	6,5 – 8,5

Fuente: Decreto supremo N° 003-2010-MINAN

Anexo 05: Teoría y consolidado de la prueba Distribución t-Student

Distribución T-Student para Diferencia de Medias (Muestras Independientes)

La distribución t-Student fue estudiada por el químico inglés William Sealey Gosset (1876-1937), quien publicó sus estudios de esta distribución en 1908 con el seudónimo “Student”.

La distribución se puede definir por la siguiente ecuación:

$$t_0 = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{(n-1)S_1^2 + (m-1)S_2^2}{n+m-2}} * \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}}$$

Donde:

t_0 : “t” Calculado.

\bar{x}_1 : Promedio del Primer Grupo.

\bar{x}_2 : Promedio del Segundo Grupo.

S_1^2 : Varianza del Primer Grupo.

S_2^2 : Varianza del Segundo Grupo.

n: Tamaño de la Muestra del Primer Grupo.

m: Tamaño de la Muestra del Segundo Grupo.

Entonces, la distribución se denomina distribución t-Student con η grados de libertad* y significa distribución teórica de probabilidad, usada para la comparación de dos medias en poblaciones independientes y normales.

El uso de este procedimiento se basa de dos suposiciones específicas acerca de las distribuciones poblacionales fundamentales, que deben satisfacerse dentro de estas en su mayoría. Estas suposiciones son las siguientes:

Ambas poblaciones son normales, de modo que: $X^1_1, X^1_2, \dots, X^1_n$ es una muestra aleatoria de una distribución normal y así también es $X^2_1, X^2_2, \dots, X^2_n$ (con las X^1 y las X^2 independientes entre sí y muestras aleatorias).

Los valores de las dos varianzas poblacionales S^2_1 y S^2_2 son iguales, de modo que su valor común se puede denotar por S^2 (que es desconocida).

Anexo 06: Prueba estadística de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).

Supuesto de Normalidad.

Para verificar el supuesto de normalidad se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov, esta prueba permite contrastar la hipótesis que los datos muestrales provienen de una distribución normal, se utiliza usualmente para variables cuantitativas.

H_0 : Los datos Proviene de una distribución normal.

H_1 : los datos no provienen de una distribución normal.

Realizamos la Segmentación de archivos:

AR (Agua Residual) = Entrada

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^c

		DBO5
N		3
Parámetros normales ^{a,b}	Media	2170.3333
	Desviación típica	790.43933
Diferencias más extremas	Absoluta	.297
	Positiva	.214
	Negativa	-.297
Z de Kolmogorov-Smirnov		.514
Sig. asintót. (bilateral)		.954

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

c. AR = ENTRADA

AR (Agua Residual) = Salida

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^c

		DBO5
N		3
Parámetros normales ^{a,b}	Media	497.6667
	Desviación típica	257.03177
Diferencias más extremas	Absoluta	.177
	Positiva	.174
	Negativa	-.177
Z de Kolmogorov-Smirnov		.306
Sig. asintót. (bilateral)		1.000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

c. AR = SALIDA

El p-valor es mayor que 0.05 para los dos casos, entonces decimos que no tenemos evidencia para rechazar la hipótesis nula y que los datos provienen de una distribución normal. Esto indica que se puede aplicar perfectamente la prueba t-Student, para la comparación de las medias poblacionales.

Supuesto de Igualdad de varianzas.

Se utiliza la prueba de Levene para la igualdad de varianzas. Si el p-valor (significancia asintótica) es menor que la significancia se rechaza la hipótesis nula, luego existe diferencia significativa entre las varianzas, pero si p-valor es mayor que la significancia no se tendrá evidencia para rechazar la hipótesis nula entonces se asumen que las varianzas son iguales.

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DBO5	Se han asumido varianzas iguales	4.398	.104
	No se han asumido varianzas iguales		

Aplicación Prueba t-Student para diferencias de medias.

Hipótesis nula (H0): La concentración de la carga orgánica expresada como DBO₅ presente en el afluente, es igual a la concentración de la carga orgánica expresada como DBO₅ presente en el efluente del UASB.

Hipótesis alternativa (H1): La concentración de la carga orgánica expresada como DBO₅ presente en el afluente, no es igual a la concentración de la carga orgánica expresada como DBO₅ presente en el efluente del UASB.

Estadísticos de grupo

AR	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
DBO5 ENTRADA	3	2170.3333	790.43933	456.36036
SALIDA	3	497.6667	257.03177	148.39736

Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba T para la igualdad de medias							95% Intervalo de confianza para la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	Inferior	Superior
DBO5	Se han asumido varianzas iguales No se han asumido varianzas iguales	4.398	.104	3.486	4	.025	1672.66667	479.88181	340.30115	3005.032
				3.486	2.418	.056	1672.66667	479.88181	-84.93843	3430.272

Observamos que el t calculado es 3,486 con 4 grados de libertad, cuyo p-valor vale 0,025. Como p-valor es menor que 0,05, entonces tengo evidencia estadística para rechazar H₀, y aceptamos H₁. Que, a partir de los resultados obtenidos, se puede inferir que, las concentraciones de la materia orgánica expresada como DBO₅ mediante el uso de un UASB alcanza niveles de efectividad en cuanto a la remoción de la carga orgánica, para el cual existe evidencia estadística suficiente para afirmar que existe una diferencia de la concentración de la materia orgánica expresada como DBO₅ entre el afluente y efluente.

Anexo 07: Prueba estadística de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Supuesto de Normalidad.

Para verificar el supuesto de normalidad se utiliza la prueba de Kolmogorov-Smirnov, esta prueba permite contrastar la hipótesis que los datos muestrales provienen de una distribución normal, se utiliza usualmente para variables cuantitativas.

H₀: Los datos Proviene de una distribución normal.

H₁: los datos no provienen de una distribución normal.

Realizamos la Segmentación de archivos:

AR (Agua Residual) = Entrada

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^c

		DQO
N		3
Parámetros normales ^{a,b}	Media	4770.0000
	Desviación típica	3764.702
Diferencias más extremas	Absoluta	.346
	Positiva	.346
	Negativa	-.248
Z de Kolmogorov-Smirnov		.600
Sig. asintót. (bilateral)		.865

- a. La distribución de contraste es la Normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.
- c. AR = ENTRADA

AR (Agua Residual) = Salida

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra^c

		DQO
N		3
Parámetros normales ^{a,b}	Media	976.0333
	Desviación típica	602.04944
Diferencias más extremas	Absoluta	.223
	Positiva	.223
	Negativa	-.189
Z de Kolmogorov-Smirnov		.386
Sig. asintót. (bilateral)		.998

- a. La distribución de contraste es la Normal.
- b. Se han calculado a partir de los datos.
- c. AR = SALIDA

El p-valor es mayor que 0.05 para los dos casos, entonces decimos que no tenemos evidencia para rechazar la hipótesis nula y que los datos provienen de una distribución normal. Esto indica que se puede aplicar perfectamente la prueba t-Student, para la comparación de las medias poblacionales.

Supuesto de Igualdad de varianzas.

Se utiliza la prueba de Leven para la igualdad de varianzas. Sí el p-valor (significancia asintótica) es menor que la significancia se rechazara la hipótesis nula, decimos que existe diferencia significativa entre las varianzas. Pero si p-valor es mayor que la significancia no se tendrá evidencia para rechazar la hipótesis nula entonces se asumen que las varianzas son iguales.

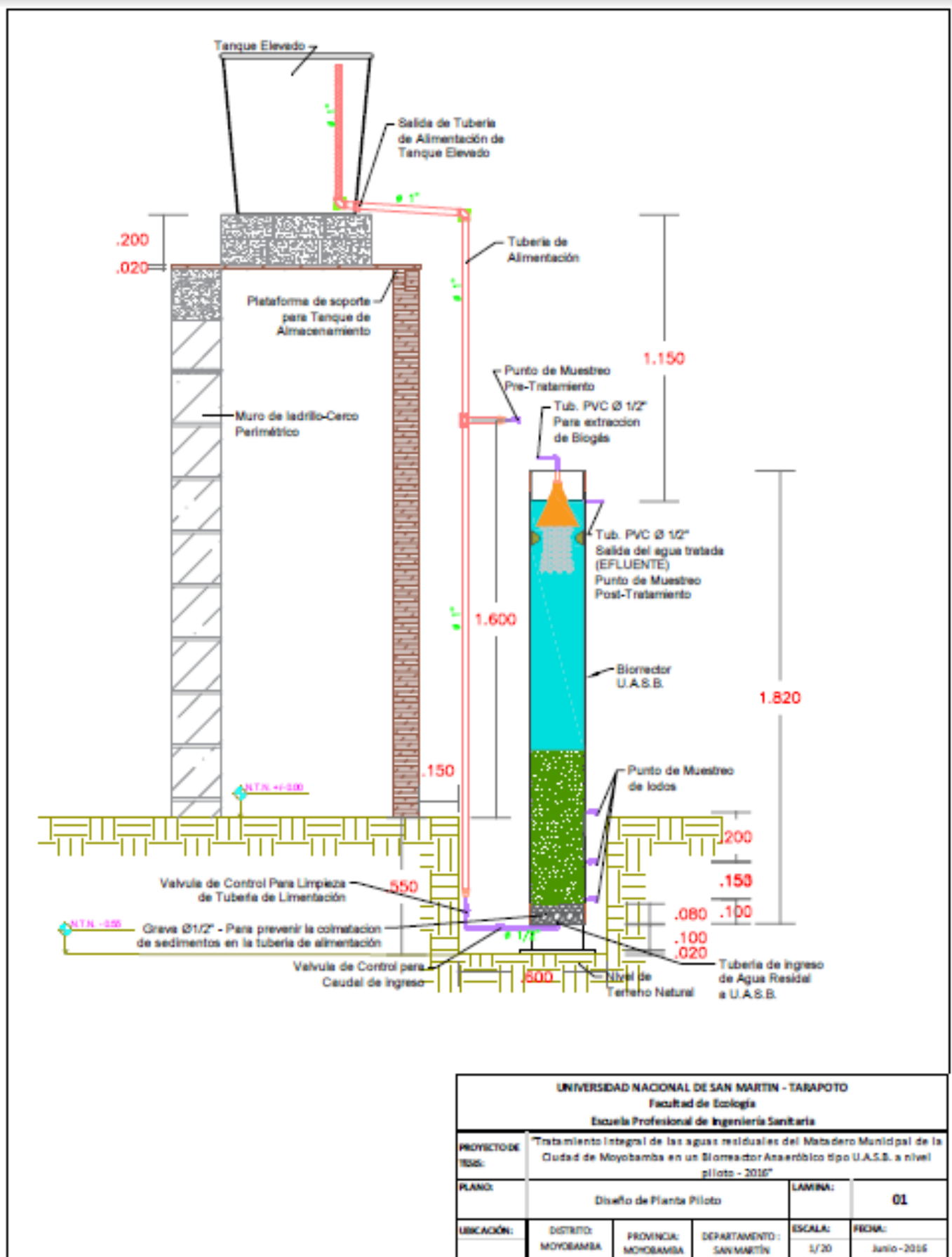
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	
		F	Sig.
DQO	Se han asumido varianzas iguales No se han asumido varianzas iguales	9.991	.034

Estadístico de Grupo – Diferencias de Medias

Estadísticos de grupo


AR	N	Media	Desviación tip.	Error típ. de la media
DQO ENTRADA	3	4770.0000	3764.70171	2173.55155
SALIDA	3	976.0333	602.04944	347.59340

Anexo 08: Plano constructivo del UASB.




➤ **Resultados de laboratorio:**

Anexo 09: Resultados de laboratorio - Caracterización de las aguas residuales.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 0616220

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS				
Código Cliente	MATADERO		-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0616220-01		-	-	-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL		-	-	-	-	-
Descripción	Industrial		-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Municipalidad de Moyobamba		-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
pH a 25°C	pH	NA	7.62	-	-	-	-
(**) Oxígeno Disuelto	mg/L	0.5	< LCM	-	-	-	-
(**) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	6.0	898	-	-	-	-
(**) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	4976	-	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
pH a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22 nd Ed. 2012: pH Value; Electrometric Method.
(*) Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved), Azide Modification
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD); Closed Reflux, Colorimetric Method


OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa
 LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estándar de calidad ambiental
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (**) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2005.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 08 de Junio de 2016.



Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO®
 DR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@regua@regioncajamarca.gob.pe FONDO: 599000 anexo 1540

Anexo 10: Resultados laboratorio - Monitoreo Mes 01.


ENSAYOS		FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	EN	SA	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	1016436-01	1016436-02	-	-	-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-	-
Descripción	Industrial	Industrial	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Matadero Municipal	Matadero Municipal	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Fósforo (P)	mg/L	0.020	14.10	13.63	-	-	-
Sólidos Suspendedos Total	mg/L	2.5	940.0	63.0	-	-	-
Nitrogeno Total	mgN/L	NA	272.8	305.3	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno	mgO ₂ /L	8.3	2205	891.2	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mgO ₂ /L	2.6	1282	493.0	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Ag,Al,As,B, Ba,Be,Bi,Ca,Cd,Co,Cu,Cr,Fe,K,Li,Mn,Mg,Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.4.1994. (Validado) PEQ1-5.4-01. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22 nd Ed. 2012: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 Cc
Nitrogeno	mgN/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D. Ammonia Selective Electrode Method
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES	
BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa	
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental, VE: valor estimado	
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.	
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado	
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.	

NOTAS FINALES	
✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.	
✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.	
✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.	
✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.	
✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.	
✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros	
✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.	
✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.	


Cajamarca, 12 de Octubre de 2016.



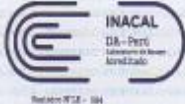
Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04 Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURANDO LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 DR. LUIS ALBERTO SANCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 E-mail: laboratorio@regcajamarca.gob.pe FONO: 05600 anexo 1141

Anexo 11: Resultados laboratorio - Monitoreo Mes 02.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1016489

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS				
Código Cliente	EN	SA	-	-	-	-	
Código Laboratorio	1016489-01	1016489-02	-	-	-	-	
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-	
Descripción	Industrial	Industrial	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	Matadero Municipal	Matadero Municipal	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Fósforo (P)	mg/L	0.020	45.27	25.69	-	-	
Sólidos Suspendidos Total	mg/L	2.5	1415	130.0	-	-	
Nitrogeno Total	mgN/L	NA	747.2	514.4	-	-	
Demanda Química de Oxígeno	mgO ₂ /L	8.3	9092	1616	-	-	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mgO ₂ /L	2.6	2433	757.0	-	-	


Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mn, Mg, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA 200.7. Rev 4.4.1994. (Validado) PEQ1-5.4-01. Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22 nd Ed. 2012; Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 Oc
Nitrogeno	mgN/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3 D. Ammonia Selective Electrode Method
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012; Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mgO ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012; Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa
 LDM: Límite de detección del Método, LCM: Límite de cuantificación de los métodos, ECA: Estándar de calidad ambiental, VE: valor estimado
 Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
 (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
 (†) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda modificación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.



Cajamarca, 08 de Noviembre de 2016.

Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURAMIENTO DE LA VERIFICABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 BL LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe FONO: 096000 extno 1140


Anexo 12: Resultados laboratorio - Monitoreo Mes 03.

ENSAYOS		FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente	EN	SA	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	1116572-01	1116572-02	-	-	-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-	-	-
Descripción	Industrial	Industrial	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Moyobamba	Moyobamba	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Fosforo Total	mg/L	0.024	52.55	34.88	-	-	-
Nitrogeno Total	mg N/L	0.017	374.3	376.7	-	-	-
(*) Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	232.5	64.0	-	-	-
(**) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	2796	243.0	-	-	-
(**) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	3013	420.9	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Ti, Sn, Tl, V, Zn)	mg/L	EPA 200.7 Rev 5.0.2001. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Nitrogeno total	mg N/L	Method 10072 Nitrogeno, Total. Persulfate digestion Method
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A D, 22 nd Ed. 2012: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

OBSERVACIONES
BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estandar relativa LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido. (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado (†) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

NOTAS FINALES
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas. ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006 ✓ La Incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método. ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce. ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.



Cajamarca, 09 de Diciembre de 2016.

Cód: RT1-5-10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04 Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 BL LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe FONOS: 596039 anexo 1142

Anexo 13: Resultados laboratorio - Determinación de NPK en Lodos.



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA



INFORME DE ENSAYO N° IE 1116573

ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS					
Código Cliente			LODO GRANULAR	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			1116573-01	-	-	-	-	-
Matriz de Agua			LODO	-	-	-	-	-
Descripción			Industrial	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Moyobamba	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fosforo Total	mg/L	0.024	351.3	-	-	-	-	-
Nitrogeno Total	mg N/L	0.017	863.9	-	-	-	-	-
Potasio Total	mg/L	0.046	65.30	-	-	-	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Ti, Sn, Tl, V, Zn)	mg/L	EPA 200.7, Rev 5.0.2001, Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Nitrogeno total	mg N/L	Method 10072 Nitrogeno, Total, Persulfate digestion Method.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540.A D, 22 nd Ed. 2012: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colarimetric Method

OBSERVACIONES

BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa
LDM: Limite detección del Método, LCM: Limite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental
Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.



NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realizan los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 09 de Diciembre de 2016.



Anexo 14: Resultados laboratorio - Determinación de NPK en Efluente.


		LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
INFORME DE ENSAYO N° IE 1116574					
ENSAYOS			FISICOQUÍMICOS		
Código Cliente	Efluente		-	-	-
Código Laboratorio	1116574-01		-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL		-	-	-
Descripción	Industrial		-	-	-
Localización de la Muestra	Moyobamba		-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados		
Fosforo Total	mg/L	0.024	37.75	-	-
Nitrogeno Total	mg N/L	0.017	382.1	-	-
Potasio Total	mg/L	0.046	36.39	-	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales por ICP-OES (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Si, Ag, Na, Sr, Ti, Sn, Ti, V, Zn)	mg/L	EPA 200.7, Rev 5.0.2001. Determination of Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry
Nitrogeno total	mg N/L	Method 10072 Nitrogeno, Total. Persulfate digestion Method.
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540.A.D, 22 nd Ed. 2012: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
(*) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test.
(*) Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

OBSERVACIONES
<p>BFL: Blanco fortificado de Laboratorio, MFL: Matriz fortificada de Laboratorio, RSD: Desviación estándar relativa</p> <p>LDM: Límite detección del Método, LCM: Límite de cuantificación del métodos, ECA: Estandar de calidad ambiental</p> <p>Los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.</p> <p>(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado</p> <p>(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.</p>

NOTAS FINALES
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua. ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas. ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2006. ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método. ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce. ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.

Cajamarca, 09 de Diciembre de 2016.



Cód: RT1-5.10-01 Fecha de Emisión: 26/08/2014 Rev: N°04

Página: 3 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO®
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@lra.regioncajamarca.gob.pe FONOS: 996005 línea 1140

➤ **Panel Fotográfico:**

Anexo 15: Acondicionamiento del área, para la construcción de la planta piloto.



Foto 01: Acondicionamiento del área y construcción de plataforma para el tanque elevado.

Anexo 16: Materiales empleados para la construcción del UASB.

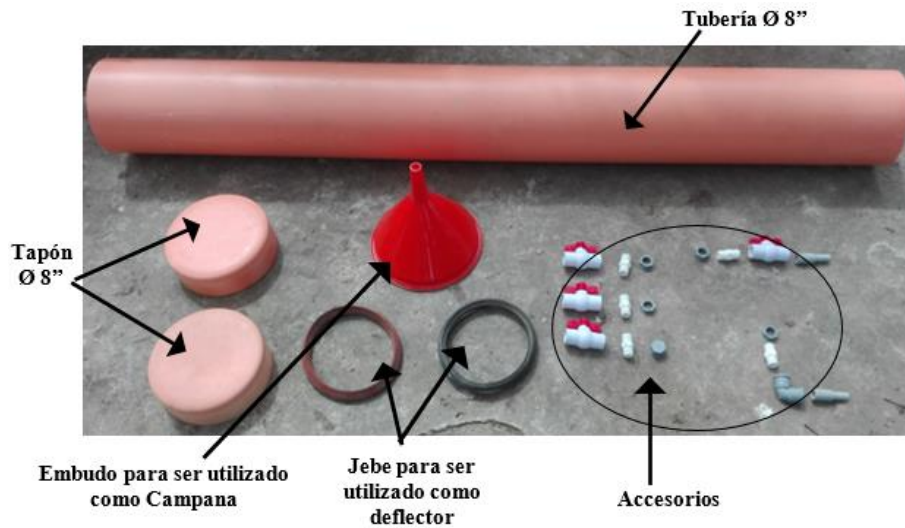


Foto 02: Materiales para la construcción del UASB.

Anexo 17: Construcción de la campana separadora Gas-Líquido-Sólido.

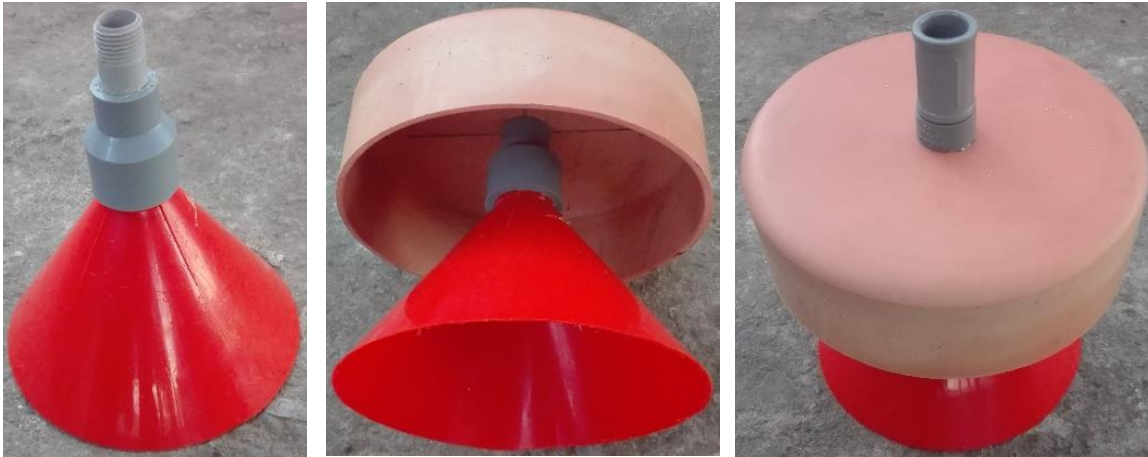


Foto 03: Adaptación del embudo de PVC para ser utilizada como campana Separadora Gas-Líquido-Sólido; el cual se encuentra unida al tapón de 8" de diámetro que se emplea para cerrar el UASB.

Anexo 18: Vista de planta - Construcción del UASB.

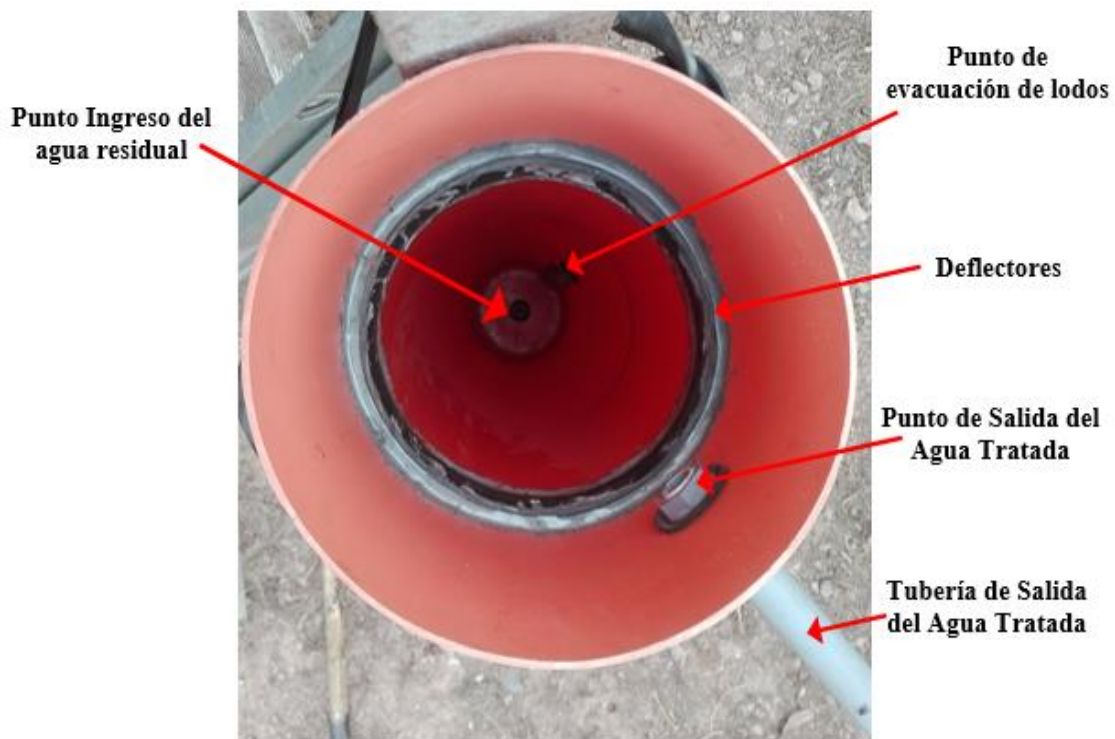


Foto 04: Resultado de la construcción del UASB y su instalación en la planta piloto.

Anexo 19: Vista final de la construcción de la planta piloto.



Foto 5: Se observa la vista final de la construcción de la planta piloto, con los componentes necesarios como son el UASB, el tanque elevado de almacenamiento y la cámara para el almacenamiento del Biogás.

Anexo 20: Materiales utilizados para el proceso de arranque del UASB.



Foto 06: Materiales empleados para dar el inicio del arranque del UASB, grava de 1" de diámetro se instaló en la parte inferior luego se preparó el inóculo a base de rumen y agua residual y se procedió a cargar el UASB.

Anexo 21: Proceso de acumulación de Biogás.



Foto 07: Proceso de llenado de la cámara de almacenamiento, con biogás producido.

Anexo 22: Prueba de Combustión de Biogás.



Foto 08: Prueba de combustión de biogás obtenido.

Anexo 23: Toma de muestras.



Foto 09: Proceso de toma de muestras, rotulado y acondicionamiento en caja couller para ser enviada a laboratorio.