

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley Nro. 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN UN REACTOR
ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB) PARA
EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE
HUANCAMELICA.**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA

DISCIPLINA:

INGENIERÍA AMBIENTAL

PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

PRESENTADO POR:

Bach. CASTRO OLARTE, JERSON

HUANCAMELICA -PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

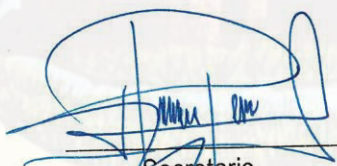
En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 18 días del mes de abril del año 2018, a horas 3:00 p.m, se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **Dra. Teresa Jesús GONZALES HUAMÁN (PRESIDENTA)**, **M.Sc. Jorge Luis HUERE PEÑA (SECRETARIO)**, **M.Sc. Fernando Martín TORIBIO ROMÁN**, designados con Resolución de Consejo de Facultad N° 586-2017-FCI-UNH, de fecha 20 de diciembre del 2017 y ratificados con Resolución de Decano N° 031-2018-FCI-UNH de fecha 11 de abril del 2018, a fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN UN REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCVELICA", presentado por el Bachiller **Jerson CASTRO OLARTE**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitaria**; en presencia del **M.Sc. Víctor Guillermo SANCHEZ ARAUJO**, como Asesor y el Ing. **Yon CECILIO CABRERA**, como Co-Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 4:30; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

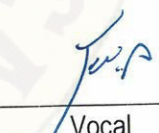
APROBADO ☒ POR MAYORIA

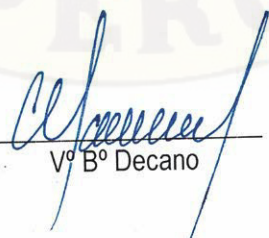
DESAPROBADO ☐

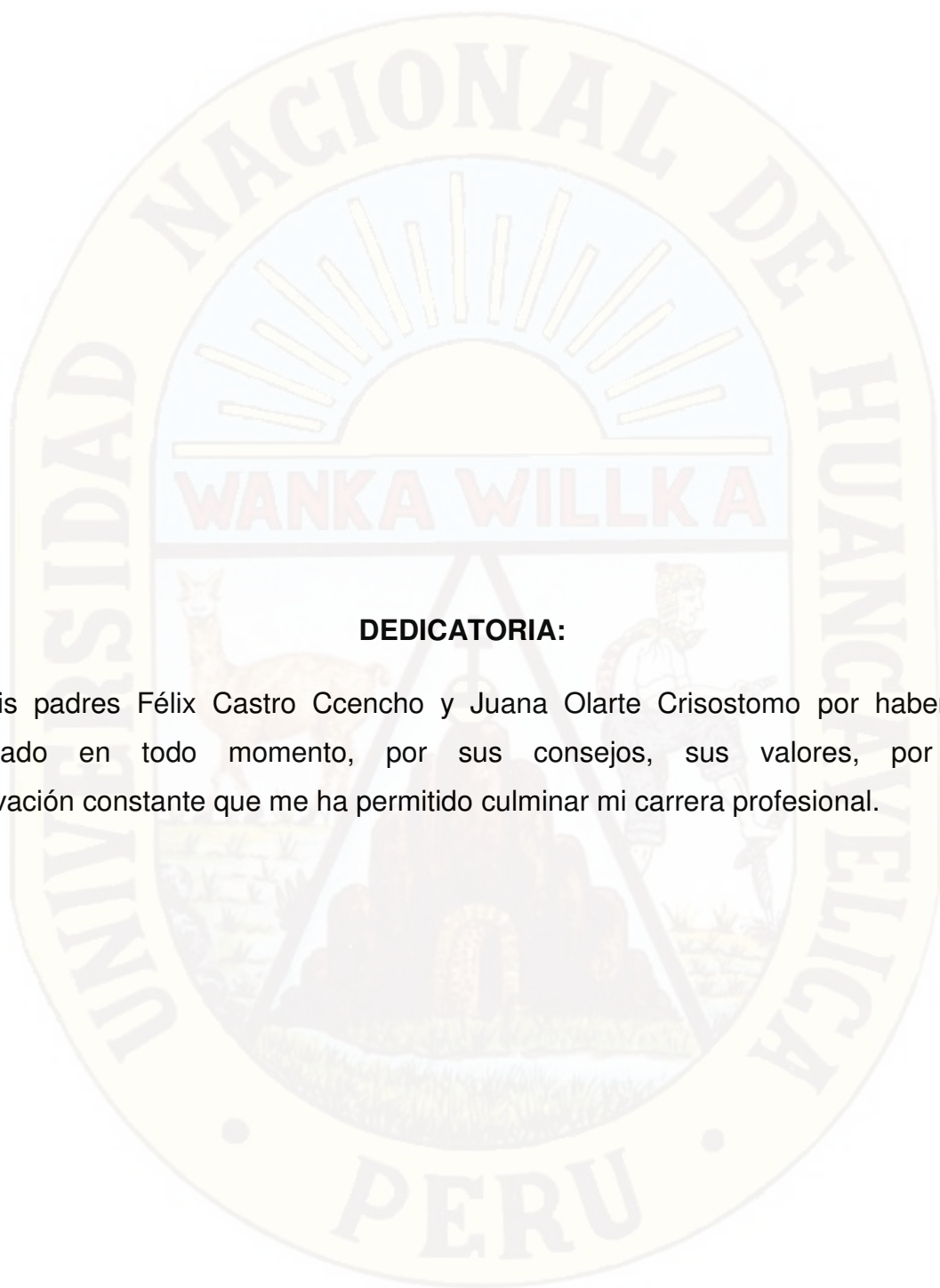
En señal de conformidad, firmamos a continuación:


Presidente


Secretario

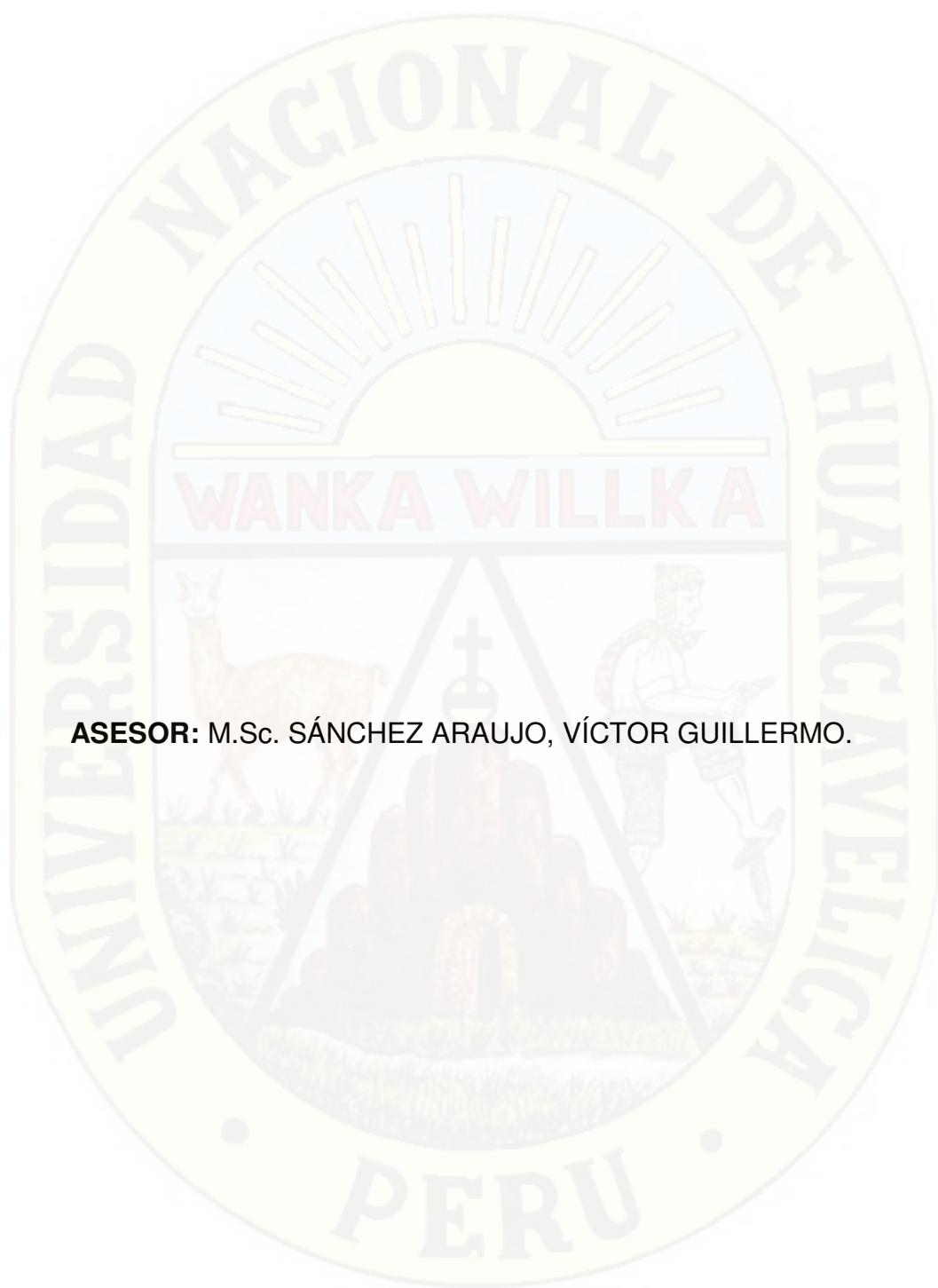

Vocal


Vº Bº Decano



DEDICATORIA:

A mis padres Félix Castro Ccencho y Juana Olarte Crisostomo por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido culminar mi carrera profesional.



ASESOR: M.Sc. SÁNCHEZ ARAUJO, VÍCTOR GUILLERMO.

RESUMEN

En la presente tesis de investigación se estudió un nuevo sistema de tratamiento primario para aguas residuales industriales, propone utilizar el “Reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente” (UASB), aplicado a la remoción de materia orgánica. El sistema diseñado a escala piloto, fue investigado para las aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, el agua residual se bombeo después del pretratamiento (cámara de reja gruesa y desarenador) al tanque de almacenamiento de 350 litros para posterior realizar el tratamiento del agua residual en el reactor UASB a escala laboratorio. Se evaluó la mejor eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor UASB, para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 14 horas con un caudal de circulación de 35ml/min se obtuvo una eficiencia mínima de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 33.66% y una máxima eficiencia de 76.90% todo ello en un rango de temperatura de agua residual de 10°C y 19°C. También para este TRH de 14 horas la cantidad de sólidos suspendidos totales disminuyo de 524.34mg/L a 365.04mg/L, obteniéndose una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales de 30.28%. El tratamiento primario reactor UASB es una alternativa para remover la materia orgánica y sólidos suspendidos totales, aplicado para aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica a localidades ubicados en lugares con condiciones de clima y altitud similares, el diseño se optimizó para un TRH de 14 horas para el reactor UASB el cual se obtuvo una mejor eficiencia de remoción de materia orgánica.

Palabras clave: reactor UASB, tratamiento anaerobio, tiempo de retención hidráulico, carga orgánica.

ABSTRAC

In this research thesis, a new primary treatment system for industrial wastewater was studied, proposing the use of the "Upflow Anaerobic Sludge Blanquet" (UASB), applied to the removal of organic matter. The system designed at pilot scale, was investigated for the wastewater of the Municipal Camal de Huancavelica, the residual water is pumped after the pretreatment (thick grid chamber and sand trap) to the storage tank of 350 liters for subsequent treatment of waste water in the laboratory scale UASB reactor. The best efficiency of removal of organic matter in a UASB reactor was evaluated. For a hydraulic retention time (TRH) of 14 hours with a flow rate of 35ml/min, a minimum efficiency of Chemical Oxygen Demand (COD) removal was obtained. of 33.66% and a maximum efficiency of 76.90% all in a range of residual water temperature of 10 °C and 19 °C. Also for this TRH of 14 hours the amount of total suspended solids decreased from 524.34mg/L to 365.04mg/L, obtaining a removal efficiency of total suspended solids of 30.28%. The UASB reactor primary treatment is an alternative to remove the organic matter and total suspended solids, applied for wastewater from the Camal Municipal de Huancavelica to locations located in places with similar climate and altitude, the design was optimized for a HRT of 14 hours for the UASB reactor, which obtained a better efficiency of organic matter removal.

Keywords: UASB reactor, anaerobic treatment, hydraulic retention time, organic load.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPITULO I: PROBLEMA	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Formulación del Problema.	3
1.3. Objetivo: General y Específicos.	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivo Específicos	3
1.4. Justificación.	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Bases Teóricas.	9
2.2.1. Teoría del reactor UASB	9
2.2.2. Aguas residuales industriales	13
2.2.3. Tratamiento anaerobio	13
2.2.4. Procesos de tratamiento anaerobio de aguas residuales.	14
2.2.4.1. Descripción del proceso de digestión anaerobia.	15
2.2.5. Tecnologías Implementadas para la depuración de camales	26
2.2.6. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB.	29
2.2.6.1. Consideraciones para el diseño de un reactor UASB	34
2.2.6.1.1. Características de aguas residuales	34
2.2.6.1.2. La Carga orgánica (CO)	34
2.2.6.1.3. Tiempo de retención hidráulico (TRH)	35
2.2.6.1.4. Velocidad de flujo ascendente	36

2.2.6.1.5. Características físicas	37
2.2.6.1.6. Recuperación de gas y separación de sólidos.....	38
2.2.6.2. Funcionamiento y arranque del reactor	38
2.2.7. Remoción de materia orgánica (medido como DQO)	41
2.3. Hipótesis.	41
2.4. Definición de Términos.	42
2.5. Identificación de Variables.	43
2.6. Operacionalización de Variables.....	44
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	45
3.1. Tipo de Investigación	45
3.2. Nivel de Investigación	45
3.3. Método de Investigación.....	45
3.4. Diseño de Investigación.....	46
3.5. Población, Muestra, Muestreo	47
3.6. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos	48
3.6.1. Técnicas para las pruebas Experimentales	48
3.6.1.1. Calculo de Diseño del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente UASB a escala Laboratorio.	52
3.6.2. Instrumentos para la recolección de datos	54
3.7. Procedimiento de Recolección de Datos.	54
3.7.1. Definición del programa de monitoreo.....	54
3.7.2. Determinación de puntos de monitoreo.....	54
3.7.3. Parámetros de medición y control.....	55
3.7.4. Cronograma de medición y control	56
3.7.5. Método de Análisis de Laboratorio.....	56
3.7.5.1. Temperatura Ambiental.....	56
3.7.5.2. pH y temperatura.....	57
3.7.5.3. Demanda Química de Oxígeno total(DQO)	58
3.7.5.4. Altura de lodo del reactor	59
3.7.6. Periodos del Proyecto de Investigación	60
3.7.7. Arranque del Reactor del Reactor UASB.....	60

3.7.8. Puntos de muestreo.....	62
3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.	62
3.9. Ámbito de Estudio.....	63
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	64
4.1. Presentación de Resultados.	64
4.1.1. Descripción de los resultados	64
4.1.2. Resultados obtenidos por parámetro.....	69
4.1.2.1. Parámetros evaluados.....	69
4.1.3. Eficiencias de Remoción Obtenidas	81
4.2. Discusión.....	84
4.2.1. Discusión por parámetro obtenido	84
4.2.2. Contrastación de Hipótesis con los resultados	90
4.2.2.1. Contrastación de la eficiencia de remoción DQO para un TRH de 14 horas	90
4.2.2.2. Contrastación de la eficiencia de remoción DQO para un TRH de 12 horas	94
CONCLUSIONES.....	99
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	102
ANÉXOS.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Reactores anaerobios	14
Tabla 2.- Principales grupos de microorganismos Anaeróbicos	19
Tabla 3.- Efecto de la temperatura en el reactor UASB	23
Tabla 4.- Ventajas del tratamiento anaerobio	25
Tabla 5.- Desventajas del tratamiento anaerobio	26
Tabla 6.- Reactores y características de operación empleadas para el tratamiento anaerobio para aguas residuales de Centro de beneficios de animales	27
Tabla 7.- Aplicación del reactor anaerobio en el tratamiento de aguas residuales domésticas a temperaturas bajas	28
Tabla 8.- Principales parámetros de diseño para reactor UASB	30
Tabla 9.- Fundamentos del reactor UASB	31
Tabla 10.- Características del sistema UASB	32
Tabla 11.- Velocidad Ascensional (m/h)	37
Tabla 12.- Tiempo de Retención Hidráulico a Investigar	52
Tabla 13.- Resumen de medidas del reactor UASB a escala Piloto	53
Tabla 14.- TRH y caudal de operación a investigar	53
Tabla 15.- Control de monitoreo	56
Tabla 16.- Periodos del proyecto de investigación	60
Tabla 17.- Monitoreo del mes de mayo _ junio	65
Tabla 18.- Monitoreo del mes de Junio – Julio	66
Tabla 19.- Monitoreo del mes de julio – Setiembre	67
Tabla 20.- Operación del reactor UASB	68
Tabla 21.- Operación del reactor UASB	68
Tabla 22.- Resumen de Variación de pH	72
Tabla 23.- Monitoreo de DQO para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas	74
Tabla 24.- Monitoreo de DQO para un tiempo de retención hidráulico de 12 horas	76
Tabla 25.- Monitoreo de DQO para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas	78
Tabla 26.- Eficiencia de remoción de DQO para un TRH de 14 horas	81
Tabla 27.- Eficiencia de remoción de DQO para un TRH de 12 horas	82
Tabla 28.- % de eficiencia de remoción de DQO respecto al TRH	89
Tabla 29.- Base de datos para la contrastación de hipótesis para un TRH de 14 horas	91
Tabla 30.- Base de datos para la contrastación de hipótesis para un TRH de 12 horas	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Modelo de distribución de tamaño para gránulos metanogénicos	10
Figura 2.- Representación esquemática del modelo de la capa múltiple	11
Figura 3.- Granulación de lodo anaerobio	12
Figura 4.- Esquema de la formación del gránulo.....	12
Figura 5.- Degradación Biológica de la Materia Orgánica.	15
Figura 6.- Balance Anaerobio de la Materia Orgánica	16
Figura 7.- Balance Aerobio de la Materia Orgánica.....	16
Figura 8.- Etapas de la Digestión Anaerobia	18
Figura 9.- Efecto de la concentración de compuestos tóxicos.....	21
Figura 10.-Principio del sistema UASB.....	29
Figura 11.-Diagrama esquemático de un reactor UASB.....	31
Figura 12.-Gránulos de lodo Activado en un Reactor UASB.....	33
Figura 13.- Ejemplo de lodos encontrados en cada zona de un reactor UASB	33
Figura 14.- Estructura de un reactor UASB típico(2002)	40
Figura 15.- Representación esquemática de un reactor UASB y la variación de la concentración de lodo con altura	41
Figura 16.- Ubicación geográfica	49
Figura 17.- Ubicación de la zona de Investigación	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Esquema general de la investigación.....	50
Gráfico 2.- Temperatura Ambiental (°C) Tiempo de acumulación (días)	69
Gráfico 3.- Temperatura de ingreso de agua residual (°C) Tiempo de acumulación (días).....	70
Gráfico 4.- Temperatura de salida de agua residual (°C) Tiempo de acumulación (días)..	71
Gráfico 5.- Potencial de hidrógeno promedio (pH) vs Tiempo acumulado (días)	72
Gráfico 6.- Concentración de Aceites y grasas.	73
Gráfico 7.- Concentración de Sólidos Suspendidos Totales.....	74
Gráfico 8.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)	75
Gráfico 9.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)	75
Gráfico 10.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)	76
Gráfico 11.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)	77
Gráfico 12.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)	78
Gráfico 13.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)	79
Gráfico 14.- Altura de lodo UASB (cm) vs Tiempo acumulado (días).....	79
Gráfico 15.- Altura de lodo UASB (cm) vs Tiempo acumulado (días).....	80
Gráfico 16.- Altura de lodo UASB (cm) vs Tiempo acumulado (días).....	80
Gráfico 17.- Eficiencias obtenidas para TRH de 14 horas.....	82
Gráfico 18.- Eficiencias obtenidas para TRH de 12 horas.....	83
Gráfico 19.- Influencia del pH en el Punto A y B vs Tiempo acumulado (días).....	85
Gráfico 20.- Eficiencia de remoción de DQO en el reactor UASB para un TRH de 14 horas	88
Gráfico 21.- Eficiencia de remoción de DQO en el reactor UASB para un TRH de 14 horas	89

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.- Vista del almacenamiento de agua residual doméstica y reactor UASB.....	51
Fotografía 2.- Puntos de monitoreo del reactor UASB	55
Fotografía 3.- Termómetro Ambiental	57
Fotografía 4.- pH.metro digital HI 8424.....	57
Fotografía 5.- Digestor Hach DBR 200	58
Fotografía 6.- Colorímetro portátil DR-900.....	59
Fotografía 7.- Cinta métrica para la medición de lodos.....	59
Fotografía 8.- Purga de lodo del reactor UASB de CITRAR-UNI para la investigación.....	61
Fotografía 9.- Inoculación de lodo al reactor UASB.....	61
Fotografía 10.- Toma de muestra en el punto A (izquierda) y en el punto B (derecha).....	62
Fotografía 11.- Acondicionamiento del tanque de Almacenamiento y del regulador de caudal	107
Fotografía 12.- Instalación del tanque de almacenamiento y regulador de caudal	107
Fotografía 13.- Instalación del reactor UASB y las magueras de ½”	108
Fotografía 14.- Realizando la prueba hidráulica en el reactor UASB y las mangueras de conexión para evitar las fugas respectivas.	108
Fotografía 15.- Instalación del sistema de Bombeo, para la impulsión del agua residual al tanque de almacenamiento.....	109
Fotografía 16.- Tanque de almacenamiento de agua residual de 350 litros.....	109
Fotografía 17.- Inoculación de lodo al reactor UASB	110
Fotografía 18.- Reactor Anaerobio de Manto de lodos de Flujo Ascendente, a escala laboratorio	110
Fotografía 19.- Ubicación del termómetro Ambiental	111
Fotografía 20.- Toma demuestra en el Pto A (izquierda), muestra en el Pto B (derecha)	111
Fotografía 21.- Medición de los parámetros de Demamda Química de Oxígeno (DQO) .	112
Fotografía 22.- Medición de los parámetros de Demamda Química de Oxígeno (DQO) .	112
Fotografía 23.- Medición de los parametros de pH Y Temperatura del agua residual.....	113
Fotografía 24.- Gigantografía del proyecto de Investigación.....	113

INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional de Huancavelica, como universidad pública, recibe recursos financieros provenientes del Fondo de Desarrollo Socioeconómico del Proyecto Camisea “FOCAM”, destinados exclusivamente a la investigación científica, tecnológica e innovación.

El camal Municipal de Huancavelica, ubicado en el distrito de Huancavelica; Centro Poblado: *Paltarumi – Chuñuranra* a una altitud de a 3715 msnm, cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Residual, lo cual tiene las siguientes operaciones y procesos unitarios como: cribado, desarenador, trampa de grasa, tanque séptico, sedimentadores, lecho de secado y como último el humedal artificial. El sistema de tratamiento presenta deficiencia en el diseño de las operaciones y procesos unitarios como: dimensionamiento incorrecto del cribado, desarenador, tanque séptico; sedimentador, lecho de sacado y el humedal artificial.

Este sistema de tratamiento desde que empezó a operar en el año 2011 no se realizó el mantenimiento respectivo, y el monitoreo del agua tratada. Como resultado del diagnóstico realizado se pudo observar que el efluente del tratamiento tiene un color gris oscuro; el color del efluente es un indicador que el sistema de tratamiento es ineficiente.

Como consecuencia del vertido sin tratamiento al ambiente del agua residual del camal municipal de Huancavelica, se contaminan los suelos y los cuerpos de agua, además de incrementar el riesgo de la salud por la proliferación de malos olores producto de la degradación natural de la materia orgánica.

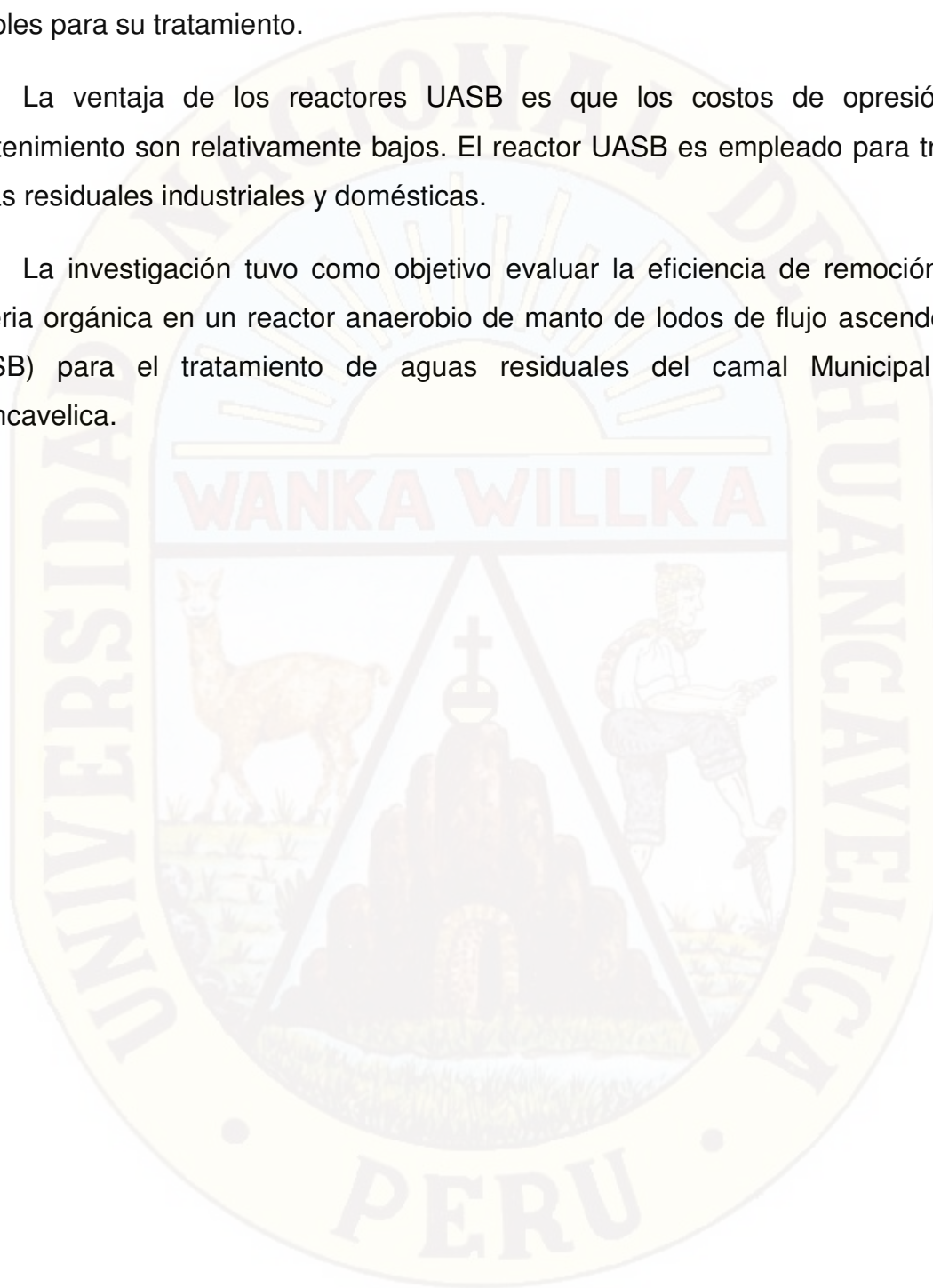
Por ello la investigación científica realizada, busca alternativas técnicas de solución de bajo costo a la problemática del tratamiento, disposición y reúso inadecuado de las aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Dado al alto contenido de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual de camales municipales, se utilizó la tecnología del reactor UASB ya que

los procesos anaerobios suelen ser técnicas viables y económicamente más factibles para su tratamiento.

La ventaja de los reactores UASB es que los costos de operación y mantenimiento son relativamente bajos. El reactor UASB es empleado para tratar aguas residuales industriales y domésticas.

La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del camal Municipal de Huancavelica.



CAPITULO I: PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema.

En Colombia, los centros de sacrificio de animales son problemas ambientales: el 99% de los mataderos no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado, el 93% vierte sus aguas residuales directamente a un cuerpo de agua, al alcantarillado o a campo abierto, el 84% vierte el contenido del rumen directamente a los cuerpos de agua o en campo abierto, el 33% no hace en lo absoluto ningún uso de la sangre resultante de los procesos de sacrificio y faenado y el 57% no cuenta con rubro presupuestal propio.

Los centros de sacrificio generan cantidades significativas de desechos líquidos, emitiendo olores muy desagradables. Todos los efluentes, contienen sangre, estiércol, pelos, huesos, grasas, proteínas y otros contaminantes solubles (Guillermo Chaux et al. 2009).

En España, a nivel urbano una de las principales fuentes de contaminación orgánica es la producida por los mataderos municipales, cuyos vertimientos líquidos presentan concentraciones muy alta especialmente de materia orgánica, grasas, sólidos y coliformes fecales, y su impacto sobre las redes de alcantarillados sanitarios se hacen más notorios en poblaciones medianas y pequeñas, situación que obliga a realizar tratamientos antes de sus descargas (Maldonado y Ramón 2006).

En México, las aguas residuales de un rastro municipal son altamente contaminantes debido a su elevada carga orgánica, con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de 5000- 10000 mg/L, por lo que provocan un alto impacto ambiental en cuerpos receptores de agua y en suelo. Así, la elevada concentración de materia orgánica (MO) reduce la concentración de oxígeno disuelto en el cuerpo de agua, provocando la muerte de especies acuáticas. Además, las aguas residuales de rastro contienen una gran cantidad de microorganismos patógenos tales como *Salmonella typhimurium*, *Shigella*, *Vibrio cholerae* y virus, entre muchos otros, los cuales generan un gran número de enfermedades como *fiebre tifoidea*, *disentería*, *cólera*, *hepatitis* (López López et al. 2007).

Los procesos anaerobios han sido aplicados con éxito en el tratamiento de efluentes industriales destacándose la factibilidad del reactor anaerobio de manto de lodo de flujo ascendente (UASB) para tratar aguas residuales de alta carga como los efluentes cárnicos (G. lettinga 2015).

En Perú en el departamento La Libertad, dentro de los diferentes tipos de actividades industriales, se considera a la industria alimentaria, sobre todo las plantas de beneficio, como una de las principales actividades económicas con alto potencial contaminante, caracterizado principalmente por un elevado volumen de vertimientos líquidos, emisiones gaseosas y sobrecargas de nutrientes a los suelos. Estos efluentes se caracterizan por contener sustancias contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica. Las sustancias orgánicas están asociadas al material orgánico biodegradable que propicia el cultivo y crecimiento de microorganismos de alto potencial patógeno (*Campylobacter jejuni*, *Salmonella typhimurium* y *Eschirechia coli*) y provienen de la ejecución de tareas propias de este proceso productivo como lavado de estiércol acumulado, limpieza en las fases de matanza y desangrado, recambio de agua en escaldadoras y enfriadores, despresado y extracción de vísceras (Becerra Gutiérrez et al. 2014).

El camal Municipal de Huancavelica, ubicado en el distrito de Huancavelica; Centro Poblado: *Paltarumi – Chuñuranra* a una altitud de 3715 msnm, cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Residual, lo cual tiene las siguientes operaciones y procesos unitarios como: cribado,

desarenador, trampa de grasa, tanque séptico, sedimentadores, lecho de secado y como último el humedal artificial. El sistema de tratamiento presenta deficiencia en el diseño de las operaciones y procesos unitarios como: dimensionamiento incorrecto del cribado, desarenador, tanque séptico; sedimentador, lecho de sacado y el humedal artificial.

Este sistema de tratamiento desde que empezó a operar en el año 2011 no se realizó el mantenimiento respectivo, y el monitoreo del agua tratada. Como resultado del diagnóstico realizado se pudo observar que el efluente del tratamiento tiene un color gris oscuro; el color del efluente es un indicador que el sistema de tratamiento es ineficiente. El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales infiltra en el subsuelo; pero un porcentaje de agua del humedal artificial y del pozo de infiltración, descargan a los bofedales; lo cual contaminan la biodiversidad y el ecosistema de la zona.

1.2. Formulación del Problema.

¿Cuánto será la eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica?

1.3. Objetivo: General y Específicos.

1.3.1. Objetivo General

- ✚ Evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del camal Municipal de Huancavelica.

1.3.2. Objetivo Específicos

- ✚ Determinar el tiempo de retención hidráulico del reactor UASB.
- ✚ Determinar la eficiencia en remoción de DQO del reactor UASB.
- ✚ Determinar la concentración de SST del reactor UASB.
- ✚ Determinar la concentración de aceites y grasas del reactor UASB.
- ✚ Evaluar los parámetros: pH y temperatura del reactor UASB.

1.4. Justificación.

El desarrollo de esta investigación se justifica en la necesidad de implementar una propuesta tecnológica como el Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo ascendente (UASB) que permita mejorar la eficiencia de remoción de materia orgánica por medio del cual se pueda economizar, simplificar y/o mejorar los procesos de tratamiento de los centros de sacrificio de animales en la Ciudad de Huancavelica y/o lugares con condiciones de clima y altitud similares.

Es pertinente realizar este estudio porque nos permitirá estimar algunos parámetros de diseño para esta tecnología de tratamiento en las condiciones a evaluar, también los resultados encontrados nos servirán para tener conocimiento de la eficiencia de remoción de materia orgánica que se da por el reactor UASB. Esta información obtenida nos servirá como base para futuros trabajos de investigación, donde el objetivo sea buscar una tecnología para el tratamiento de aguas residuales de centro de sacrificio de animales a bajas temperaturas acorde a condiciones locales diversas de nuestro país ofreciendo una mayor eficiencia en remoción de materia orgánica; y en futuros proyectos para realizar una adecuada selección de tecnologías para el tratamiento de aguas industriales.

Académico: la tesis brindara datos con relación a la eficiencia en la remoción de materia orgánica aplicando un reactor UASB que serán considerados al momento de diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales.

Práctico: los resultados de la presente tesis podrán usarse para resolver problemas en el tratamiento de las aguas residuales con alta carga orgánica particularmente para aquellas provenientes de camales.

Social: al implementarse el reactor UASB, se disminuiría la contaminación de los bofedales y ecosistemas de la zona de esta forma se evitaría el conflicto social entre población y el Camal Municipal de Huancavelica.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Internacional

(García Castillo 2012), realizó la tesis de maestría: **Evaluación de la capacidad de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de los rastros en un reactor UASB**, en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo-México. Se realizó en el “Frigorífico y Rastro de Morelia S.A. de C.V.” La investigación tuvo como objetivo; evaluar la capacidad de remoción de materia orgánica (medida como DQO) de las aguas residuales de los rastros en un reactor UASB en operación intermitente bajo condiciones de operaciones no controladas. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones: el reactor anaerobio tipo UASB consistió en un tanque de polietileno de alta densidad con capacidad de 1100 litros, de 1.45 m de altura, 1.09 m de diámetro y un volumen útil de 916 litros. Los porcentajes de remoción de materia orgánica para un Tiempo de Retención Hidráulico de 48 horas variaron en el rango de 86 a 90%, mientras que para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 72 horas, entre 72 a 93% y para un tiempo de retención hidráulico de 96 horas, entre 90 a 93%. Se pudo observar que la temperatura del reactor se mantuvo en un rango de 20 a 30 °C, mientras que la temperatura del ambiente tuvo rangos de temperatura de 8 y 32.8°C. El reactor UASB construido fue capaz de soportar cambios de carga orgánica importantes sin presentar problemas de acidificación; este comportamiento se debió a la adecuada concentración de alcalinidad dentro del reactor; proporcionada por el agua residual del rastro.

(Reyes Pantoja 2009), realizó la tesis de maestría: **Tratamiento de aguas residuales provenientes de rastro mediante un Sistema de biodegradación anaerobia-aerobia**. Universidad Nacional Autónoma de México. El agua residual modelo para la investigación es el agua residual proveniente del Rastro Municipal de Cuernavaca. La investigación tuvo como alcance; la implementación de dos sistemas de biodegradación anaerobia-aerobia: Reactor anaerobio de flujo ascendente y lecho de lodos (UASB, por sus siglas en inglés) y lodos activados (LA). La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones: la capacidad de remoción de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno, en el reactor UASB a una temperatura de (23°C) fue de 73,84% con una carga orgánica de (4,6 kg DQO/m³/día).

(Yaxcelys Caldera et al. 2005), realizaron la investigación: **Efecto de la carga orgánica en el funcionamiento de un reactor UASB durante el tratamiento de efluente cárnico**, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Zulia - Venezuela. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones: los resultados demostraron la eficiencia del reactor UASB para tratar las aguas residuales de las industrias cárnicas a un amplio rango de cargas orgánicas (1,82 - 12,30 kg DQO/m³/día). Se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO de 80% para una carga orgánica (CO) de 9,98 kg DQO/m³/día a TRH de 24 horas. El incremento en la carga orgánica (CO) influyó significativamente sobre la variabilidad de los parámetros evaluados (con excepción del pH), ocasionando la disminución del porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) y del porcentaje de metano, así como un aumento en el volumen de biogás, y en las concentraciones de sólidos suspendidos volátiles (SSV), alcalinidad y ácidos grasos volátiles (AGV). El reactor se colocó en un cuarto a temperatura controlada (37 ± 1°C) en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Zulia, se inoculó con lodo anaerobio pre granulado (un 30% del volumen útil del reactor) proveniente de una industria cervecera.

(Sierra Ramírez y Vivas Albarracín 2005), realizaron la investigación: **Diseño e implementación de una unidad piloto de tratamiento biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero de macanal (corpochivor)**, de la Universidad del Salle, Bogotá-Colombia. La investigación se realizó en el Matadero de Macanal (Corpochivor). La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones: la eficiencia promedio de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) en el reactor UASB fue de 36.50% pero se pudo observar que alcanzaron eficiencias de remoción de 41%. El comportamiento promedio de temperatura que se presenta en el centro de benéficos de animales es el siguiente de 17°C.

(Caldera 2003), realizó la siguiente investigación: **Efecto del tiempo de retención hidráulico en el funcionamiento de un reactor UASB durante el tratamiento de efluente cárnico**, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Zulia - Venezuela. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones: el reactor se colocó en un cuarto a temperatura controlada ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Zulia, se inoculó con lodo anaerobio pregranulado (un 30% del volumen útil del reactor) proveniente de una industria cervecera. En el fondo del reactor se colocó grava, 4% del volumen útil del reactor, para proveer una distribución uniforme del flujo. La remoción de materia orgánica expresada como demanda química de oxígeno (DQO) se evaluó para tres tiempos de retención hidráulico (TRH): 36, 24 y 12 horas, obteniéndose las cargas orgánicas (CO) de 5,7; 8,5 y 17 kg DQO/m³/día respectivamente, manteniéndose la concentración promedio del efluente cárnico en 8500mgDQO/L. Los resultados demostraron la eficiencia del reactor UASB para tratar efluentes cárnicos obteniéndose un porcentaje de remoción de DQO promedio de 79% para la Carga Orgánica de 17 kg DQO/m³/día a TRH de 12 horas. El porcentaje de remoción de DQO promedio disminuyó con la variación del TRH, obteniéndose una disminución de DQO entre 1 y 8% con la variación del TRH desde 36 h a 24 y 12 horas, respectivamente.

(González Contreras 2000), realizó la investigación, **Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas mediante un reactor UASB en clima templado frío**, en la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso-Chile. La investigación tuvo como objetivo estudiar la influencia de la temperatura en la eficiencia de un reactor UASB operando con aguas residuales urbanas cruda y en clima templado frío. La remoción de materia orgánica (DQO) durante un rango de temperatura del ambiente (6° - 16°C) fue de 48% para la carga orgánica $0.6 \text{ kg DQO/m}^3/\text{día}$ a TRH de 10.4 h. A bajas temperaturas el reactor debe operarse a una velocidad de carga orgánica (VCO) máxima de $0,6 \text{ kgDQO/m}^3/\text{día}$, ya que en esta condición se logra obtener una buena remoción de materia orgánica total y particulado, mientras que al operar con velocidad de carga orgánica (VCO) mayores disminuye notoriamente la eficiencia del reactor.

Nacional

(Quispe Livisi 2014), realizó la tesis. **Estudio de la remoción de carga orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente con digestor de lodos aplicado a una localidad de 3800 msnm**, en la ciudad de Puno-Perú. La investigación llegó a las siguientes conclusiones: la remoción de carga orgánica es en promedio 52.3%, para un reactor UASB-Digestor para un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH para el digestor de lodos. Los resultados para reactor UASB-digestor permite tratar cargas orgánicas con TRH de 14, 12, 10, 8 horas en el reactor UASB, obteniendo remoción de carga orgánica igual o superior al 50%.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Teoría del reactor UASB

La formación de la estructura granular de los lodos anaerobios puede ser considerado como la condición principal del éxito de la tecnología UASB.

La adhesión microbiana o granulación, es decir cuando una célula se adjunta a otra célula, se puede definir como la existencia de una energía involucrada para lograr la formación del gránulo (Sosa Villalobos 2013).

Teorías de granulación

Las teorías de granulación de lodo anaerobio se organizan en 03 grupos denominadas; enfoque físico, microbiano y termodinámico, las cuales son consideradas como el principal factor responsable de la formación granular (Sosa Villalobos 2013).

A. Teorías físicas

El fenómeno es explicado considerando las condiciones físicas que prevalecen en el reactor como: las velocidades ascendentes líquido-gas, los sólidos suspendidos en el efluente y el lodo inoculado. La remoción del exceso de lodo y desgaste del reactor son considerados como factores responsables para la granulación (Sosa Villalobos 2013).

➤ Teoría de presión de selección (1983)

Esta teoría es aceptada por ser una selección continua de partículas de lodo en el reactor. El modelo de la presión de selección sugiere que la agregación microbiana en un reactor UASB pueden ser estrategias efectivas de protección frente a las presiones de selección altas. En el reactor UASB, la presión de selección es generalmente creado por el patrón de flujo ascendente. Bajo las condiciones de alta presión de selección, los lodos ligeros y dispersos pueden ser lavados mientras los componentes más pesados pueden ser retenidos en el reactor.

➤ **Teoría del crecimiento de sólidos suspendidos (1994)**

De acuerdo a Pereboom en 1994, el tamaño del gránulo aumenta solo por crecimiento microbiano a demás menciona que las capas concéntricas observadas en gránulos seccionados se deben a pequeñas fluctuaciones. También reporto que el proceso que limita el tamaño máximo del granulo en operación normal es la descarga regular de un exceso de biomasa.

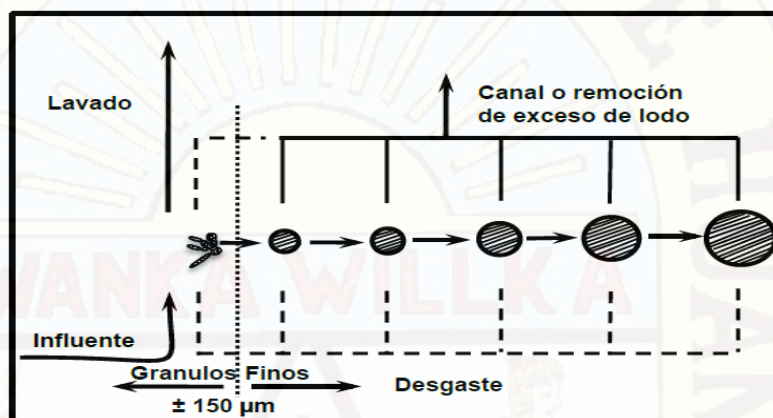


Figura 1.- Modelo de distribución de tamaño para gránulos metanogénicos

Fuente: Pereboom 1994

La distribución del tamaño del granulo en reactores UASB parece ser el resultado del crecimiento de pequeñas partículas (microorganismos) liberados de gránulos grandes o partículas.

B. Teorías microbianas

Estas teorías explican el proceso de granulación de lodos basado principalmente en las características granulares, estructura y su correspondiente microbiología, acopladas a las condiciones predominantes en el reactor (hidrodinámica, concentración de sustratos e intermediarios en el reactor) estas características son las bases de las siguientes teorías (Sosa Villalobos 2013).

➤ **Teoría de puentes entre microflóculos**

Dubourgier en 1987 sugieren que el mecanismo de granulación se inicia por el recubrimiento de las *Methanithrix* filamentosas por colonias de cocos o bastones (bacterias acidogénicas), formando así micro-flóculos de entre 10 y 50µm.

Después, las las *Methanithrix* filamentosas (por su particular morfología y propiedades superficiales) pueden establecer puentes entre diversos micro-flóculos formando a la vez gránulos mas grande (>200um).

➤ Teoría de la capa múltiple

Leod en 1990 proponen que la capa inerte consiste principalmente de bacterias metanogénicas que puedan actuar como núcleos necesarios para iniciar el desarrollo del gránulo. Las bacterias productoras y consumidoras de hidrógeno son las especies dominantes en la capa intermedia y una mezcla de especies incluyendo bastones, cocos y bacterias filamentosas tienen mayor establecimiento en la capa externa. Para convertir la materia orgánica hasta metano, es esencial la organización espacial de bacterias metanogénicas.

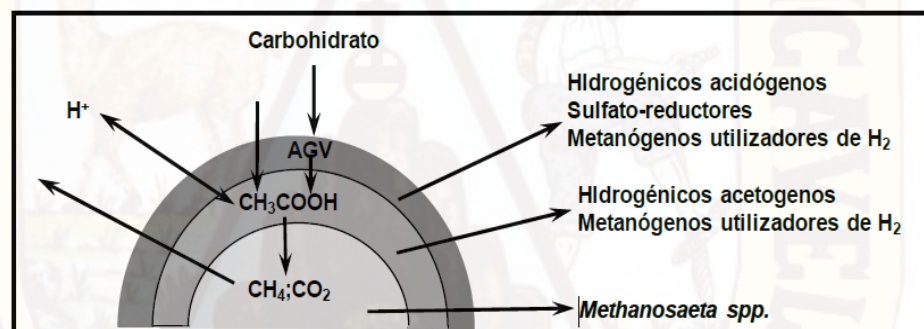


Figura 2.- Representación esquemática del modelo de la capa múltiple
Fuente: Guiot y Pauss (1992)

Ahn en el año 200, propuso un modelo de granulación similar a la teoría de la capa múltiple. En la etapa inicial de granulación, los metanógenos acetocláticos (filamentosos) y otros organismos crecen dispersos en el medio. Pero los efectos de la creación de puentes y enrollamiento debido a la hidrodinámica de los reactores UASB con el tiempo, dan origen a la formación de pequeños conglomerados estructurados, principalmente por metanógenos filamentosos que son eventualmente formados.

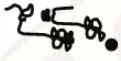
Apariencia	Etapas	Diámetro	Condición aproximada de P_{H_2} ($\log P_{H_2} \cdot \text{atm}$)
	(A) Crecimiento de metanógenos filamentosos (acetoclásticos) y otros microorganismos en condiciones de baja presión parcial de hidrógeno	filamento	Baja (≈ -6)
	(B) Unión y efecto de enrollamiento en el crecimiento de los metanógenos filamentosos	$< 100 \mu\text{m}$	↓
	(C) Crecimiento de pequeños conglomerados en un núcleo indefinido; crecimiento sintrófico de acetogénicos a través del núcleo	$< 1 \text{ mm}$	
	(D) Crecimiento de pequeños granulos con núcleo denso, acoplamiento sintrófico de hidrogenótrofos y acidógenos alrededor de la superficie de un pequeño granulo	1-2 mm	
	(E) Crecimiento del granulo con estructuras multicapas, debido a la acumulación de polímeros extracelulares por hidrogenótrofos	2-5 mm	Alto ($-2.7 \sim -3.7$)

Figura 3.- Granulación de lodo anaerobio

Fuente: Modelo propuesto por Ahn 2000

C. Teorías termodinámicas

Algunos autores han analizado el mecanismo de granulación en términos de energía involucrada en la propia adhesión, debido a las interacciones físico-químicas entre las paredes celulares y superficie extrañas.

➤ Modelos para la formación de gránulo y bio-película en reactores UASB.

✓ Modelo de tensión superficial.

Thaveesri en 1995 consideran un modelo de tensión superficial donde relacionan la adhesión de las bacterias involucradas en los consorcios anaerobios en reactores UASB a la termodinámica de la superficie.



Figura 4.- Esquema de la formación del gránulo

Fuente: Thaveesri 1995

Las bacterias acidogénicas (células redondas) se agregan por medio de la formación de exopolímeros, incluyendo algunas bacterias metanogénicas (células rectangulares) mientras

que las células dispersas son lavadas y se conducen a la formación de un gránulo con una capa externa hidrofílica elástica formada por exopolímeros ricos en bacterias acidogénicas y un núcleo interno de metanogénicas hidrofóbicas

✓ **Teoría de la translocación-deshidratación**

Propuesta por Tay en el año 200, sienta las bases de la granulación como el resultado de la actividad de translocación de los protones en las membranas microbianas. El proceso de agregación se iniciaría por causa de la interacción hidrofóbica entre las superficies bacterianas (Solera del Río y Castrillón Pelaez 2014)

2.2.2. Aguas residuales industriales

Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial (Rodríguez Fernández et al. 2009).

2.2.3. Tratamiento anaerobio

El tratamiento anaerobio se basa en la digestión de la materia orgánica por parte de microorganismos anaerobios presentes en medios húmedos que no contienen oxígeno, obteniéndose como resultado de esta degradación metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, etc. (Rodríguez Fernández et al. 2009).

Como en todo proceso biológico para aplicar un proceso anaeróbico se requiere poner en contacto el sustrato que se quiere degradar con los microorganismos que realizan las transformaciones bioquímicas. Dependiendo de las características del sustrato y de la hidrodinámica del reactor existen diversas tecnologías aplicadas a escala industrial (Fernández Polanco y Seghezze 2015).

Tabla 1.- Reactores anaerobios

TECNOLOGÍAS ANAERÓBICAS. TIPOS DE REACTOR
Reactor de mezcla completa
Reactor de contacto anaeróbico
Filtros percoladores.
UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
Lechos fluidizados. IC (Internal circulation)
Reactor compartimentado.
Reactores de membrana (AnMBR)
Combinación de tecnologías.

Fuente: (Fernández Polanco y Seghezzo 2015)

2.2.4. Procesos de tratamiento anaerobio de aguas residuales.

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogas”, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%). Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos. Realmente, es un complejo proceso en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono (Rodríguez Fernández et al. 2009).

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transforma a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles. Aunque es un proceso natural, sólo en los últimos veinticinco años ha llegado a ser una tecnología competitiva en comparación con otras alternativas. Esto ha sido posible gracias a la implementación de sistemas que separan el tiempo de retención hidráulico (TRH), del tiempo de retención

celular (TRC) los cuales han sido denominados reactores de alta tasa. Durante este proceso también se obtiene un gas combustible (Biogás) y lodos con propiedades adecuadas para ser usados como bioabonos (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido (Rodríguez Alexandra).

2.2.4.1. Descripción del proceso de digestión anaerobia.

La Digestión Anaerobia es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de CO₂, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas (Rodríguez Alexandra)



Figura 5.- Degradación Biológica de la Materia Orgánica.

Fuente: Jenny Alexandra Rodríguez

La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de fangos. En este proceso se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Sus principales aplicaciones

han sido, y siguen siendo hoy en día, la estabilización de fangos concentrados producidos en el tratamiento del agua residual y de determinados residuos industriales. Sin embargo recientemente se han demostrado que los residuos orgánicos diluidos también se pueden tratar anaeróbicamente (Metcalf & Eddy 1995).

Balance: En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO (demanda química de oxígeno), la cual mide básicamente la concentración de materia orgánica. La forma de apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio de aguas residuales, es comparando su balance de DQO con el del tratamiento aerobio. (Rodríguez Alexandra)

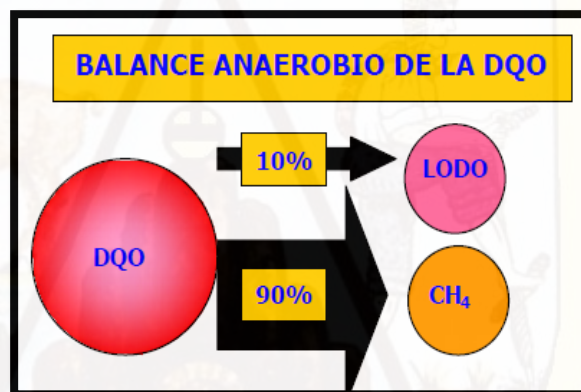


Figura 6.- Balance Anaerobio de la Materia Orgánica
Fuente: Jenny Alexandra Rodríguez

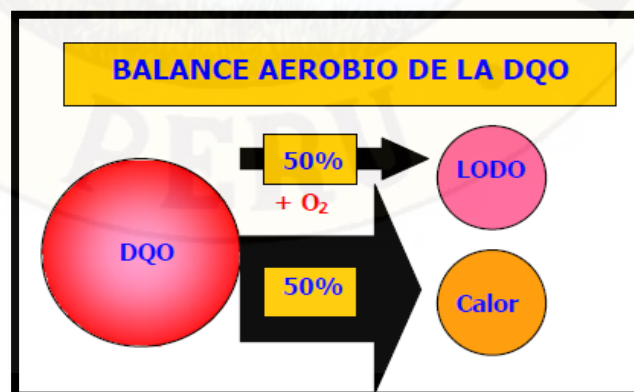


Figura 7.- Balance Aerobio de la Materia Orgánica
Fuente: Jenny Alexandra Rodríguez

Descripción del proceso

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de fangos primarios y biológicos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado. Los fangos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen en su interior durante periodos de tiempo variable. El fango estabilizado, que se extrae del proceso continuo o intermitente tiene un bajo contenido en materia orgánica y patógena, y no es putrescible. Los dos tipos de digestores más empleados son de alta tasa y baja carga. En el proceso de digestión de baja carga no se suele calentar ni mezclar el contenido del digestor, y los tiempos de detención oscilan entre 30 y 60 días. En los procesos de digestión de alta carga el contenido del digestor se calienta y se mezcla completamente. El tiempo de detención necesario suele ser de 15 días o menos. La combinación de estos procesos se suele conocer con el nombre de proceso de doble etapa. La función básica de la segunda etapa consiste en separar los sólidos digeridos del líquido sobrenadante, aunque puede tener lugar una digestión adicional y una cierta producción de gases (Metcalf & Eddy 1995).

El proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias del Grupo I (Bacteria hidrolíticas). Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular;

posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acéticos, fórmico, propiónico y butírico, así compuestos reducidos como el etanol, además de H_2 y CO_2 . Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del Grupo II, las cuales son conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno”.

Finalmente, las bacterias del Grupo III o metanogénicas convierten el acetato a metano y CO_2 , o reducen el CO_2 a metano. Estas Transformaciones involucran dos grupos metanogénicos que son los encargados de llevar a cabo las transformaciones mencionadas anteriormente: acetotróficas e hidrogenotróficas. En menor proporción, compuestos como el metanol, las metilaminas y el ácido fórmico pueden también ser usados como sustratos del grupo metanogénico (Rodríguez Alexandra).

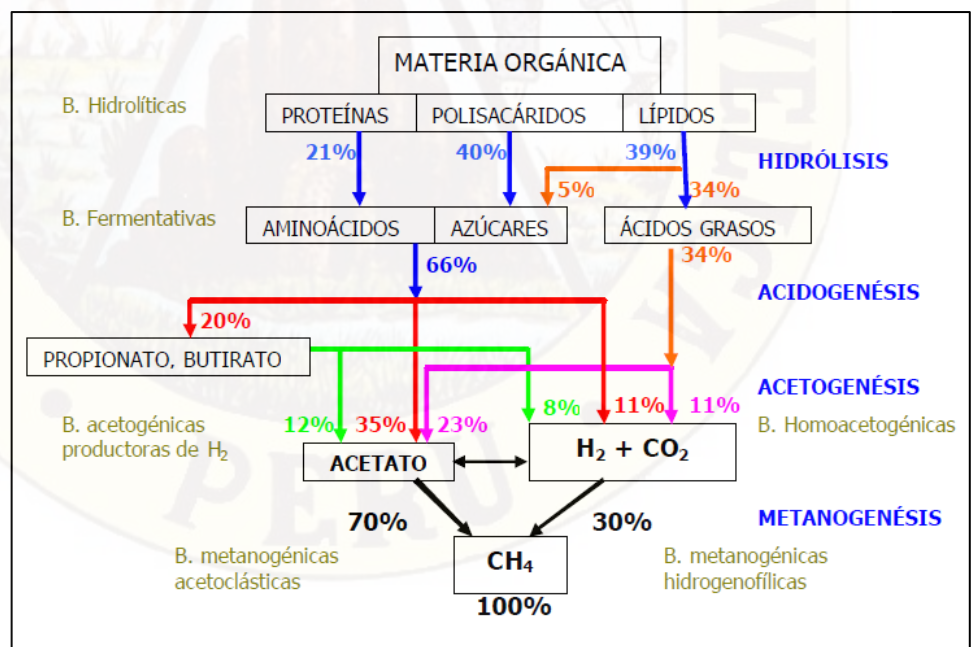


Figura 8.- Etapas de la Digestión Anaerobia

Fuente: Jenny Alexandra Rodríguez

Microbiología del proceso

La conversión de la materia orgánica de los fangos parece que se produce en tres etapas, el primer paso del proceso comporta la transformación por vía enzimática (hidrólisis) de los compuestos de alto peso molecular en compuestos que puedan servir como fuentes de energía y de carbonocelular. El segundo paso (acidogénesis), implica la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular. Tercer paso (metanogénesis). Supone la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono (Metcalf & Eddy 1995).

Los procesos anaeróbicos se desarrollan a través de mecanismos complejos en los que han de intervenir diferentes familias de microorganismos. Mientras que en vía aeróbica un único microorganismo es capaz de degradar una molécula de azúcar hasta CO_2 , la degradación por vía anaeróbica implica la intervención en serie de las familias de bacterias, que a continuación se presentan. Básicamente, la degradación anaeróbica se realiza por dos grupos de bacterias: bacterias productoras de ácidos y bacterias productoras de metano (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

Tabla 2.- Principales grupos de microorganismos
Anaeróbicos

1. BACTERIAS PRODUCTORAS DE ÁCIDOS	Bacterias acidogénicas Bacterias acetogénicas
2. BACTERIAS PRODUCTORAS DE METANO	Bacterias metanogénicas acetotróficas Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas

Fuente: Fernández y Seghezzo, 2015.

Factores que influyen en el proceso anaerobio.

a) pH

El intervalo óptimo de pH para la digestión anaeróbica, está comprendido entre 6.8 y 7.5 aunque el proceso puede desarrollarse eficazmente en el intervalo 6.0-8.0, especialmente para reactores bien aclimatados. Se han alcanzado incluso valores de pH=5.5 para alimentaciones complejas y pH=3.5 para fermentación de metanol. Algunos cultivos enriquecidos pueden operar a pH comprendidos entre 8 y 9. En la digestión de sustratos complejos las bacterias fermentativas formadoras de ácidos, son menos susceptibles a valores bajos de pH, que las bacterias metanogénicas. No existe una teoría concluyente para explicar el papel del pH y su actuación debe considerarse asociada a la concentración de AGV, potencial redox, presión parcial de hidrógeno y alcalinidad. Por su facilidad de medida es un parámetro de control habitualmente utilizado en la gestión de digestores anaeróbicos, aunque un descenso en el valor del pH sólo sirve para certificar una situación no deseable (Fernández Polanco y Seghezzi 2015).

b) Alcalinidad

se define como la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos en un agua y se expresa como la concentración de carbonato cálcico (mg de CaCO_3/L) (Caicedo Messa Francisco Javier 2006). Desde el punto de vista de tratamiento de aguas residuales, la importancia de la alcalinidad reside en la capacidad que tienen hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos para neutralizar ácidos. Se puede decir que la alcalinidad es

la capacidad tampón de un medio. Junto con el pH y la concentración de ácidos grasos volátiles es uno de los parámetros de control del reactor. La alcalinidad está directamente relacionada con el pH (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

c) Tóxicos e inhibidores

La presencia de sustancias tóxicas o inhibidoras ha de ser controlada cuidadosamente. Muchos de los compuestos tóxicos son estimulantes de la actividad biológica cuando se encuentran presentes en bajas concentraciones. Al aumentar su concentración, se observa una estimulación de la tasa de reacción biológica hasta un máximo que se alcanza para la concentración óptima. Superado éste óptimo, el aumento de la concentración del compuesto produce la inhibición del proceso (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

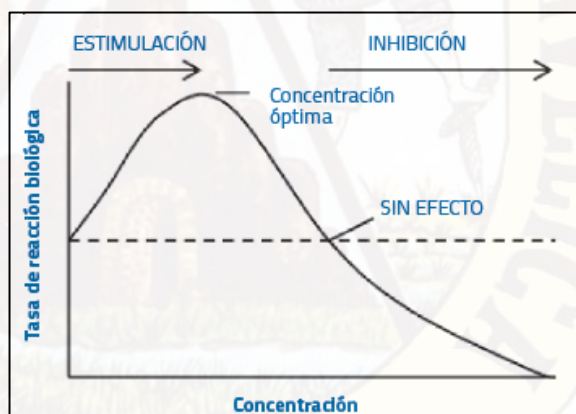


Figura 9.- Efecto de la concentración de compuestos tóxicos

Fuente: Fernández y Seghezzo, 2015.

d) Nutrientes

La variación de los nutrientes incurre en las velocidades en el proceso de digestión anaerobia (alimentación de los microbios). La biomasa necesita para su desarrollo, el suministro de una serie de nutrientes minerales, además

de una fuente de carbono y de energía. Para que se produzca el crecimiento y la actividad microbiana, estos elementos han de estar presentes y disponibles en el medio y su ausencia o escasez pueden reducir la velocidad del proceso de digestión anaerobia. Los principales nutrientes que presenta el sistema anaerobio son nitrógeno, sulfuro, fósforo, hierro, cobalto, níquel, molibdeno, selenio, y pequeñas cantidades de otros componentes (De la torre Caritas 2008).

e) Temperatura

Podrá operarse en los rangos psicrófilo (temperatura ambiente), mesófilo (temperaturas aproximadamente a los 35 °C) o termófilo (temperaturas en torno a los 55 °C). Las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En el rango termófilo se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos (Caicedo Messa 2006).

La temperatura es un parámetro de operación trascendental, pues está implicado en los balances energéticos, que en último término pueden posibilitar o impedir la utilización práctica de las técnicas anaeróbicas. Atendiendo al intervalo de temperatura, las operaciones de los reactores se clasifican en:

- Psicrófilo: $-5 < T < 20^{\circ} \text{C}$
- Mesófilo: $8 < T < 45^{\circ} \text{C}$
- Termófilo: $40 < T < 70^{\circ} \text{C}$
- Hipertermófilo: $65 < T < 110^{\circ} \text{C}$

La mayoría de las bacterias metanogénicas conocidas son mesófilas y tienen una temperatura óptima alrededor de 35°C. Las termófilas tienen un óptimo de operación a 55°C. Aunque la metanogénesis se produce a temperaturas próximas a 4°C, no se han descrito bacterias metanogénicas psicrófilas (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

En la práctica, la temperatura de 35°C, suele tomarse como valor de referencia para el diseño y operación de reactores sin que esto suponga que los reactores no pueden trabajar a temperaturas más bajas. Menor temperatura significa menor actividad y mayor volumen de reactor, pero no imposibilidad de realizar el proceso. (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

Tabla 3.- Efecto de la temperatura en el reactor UASB

TEMPERATURA (°C)	CAPACIDAD DE DISEÑO (KG DQO/m ³ /día)
40	15-25
30	10-15
20	5-10
15	2-5
10	1-3

Fuente: Fernández y Seghezzo, 2015.

f) Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

Son la mayoría de los productos intermedios de la digestión anaeróbica del material degradable a metano: ácidos acéticos, propiónico, butírico y valérico. Se mide en mg ácido acético/litro. La concentración de AGV en el efluente debe ser muy baja y debe mantenerse en estos niveles ya que los incrementos de éstos por encima de la capacidad buffer del sistema tienen un efecto inhibitor de

los compuestos intermedios que se produce en función de su grado de ionización.

La actividad metanogénica está, así mismo, relacionada con la capacidad de tiempo que el lodo tiene para adaptarse a los AGV del sustrato usado. Los AGV son degradados por bacterias acetogénicas hasta ácido acético, que constituye el mayor sustrato de las bacterias metanogénicas (Caicedo Messa 2006).

g) Relación AGV/Alcalinidad

Las variables concentración de AGV y alcalinidad tienen un significado especial para el control de reactores anaeróbicos. Un síntoma típico de mal funcionamiento de los digestores es el aumento de la concentración de AGV en el efluente. La inestabilidad del proceso puede deberse:

- Sobrecarga orgánica del digestor
- entrada de tóxicos o inhibidores en la alimentación
- Variación de temperatura

En el primer caso, la producción de AGV por bacterias acidogénicas aumenta más rápidamente que la descomposición de los mismos por las bacterias acetogénicas y metanogénicas. En los otros dos casos, tiene lugar una disminución de la actividad metabólica, como consecuencia de que los grupos de bacterias más sensibles a la presencia de tóxicos o variaciones de temperatura son los de las bacterias acetogénicas y metanogénicas (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

h) Producción de Biogás

La velocidad de producción de gas, puede utilizarse no solo como parámetro de control, sino también como variable para establecer la estabilidad del reactor.

El porcentaje de metano formado depende del estado de oxidación del compuesto. Los hidratos de carbono son transformados en cantidades iguales de metano y dióxido de carbono, el metanol y los lípidos producen más metano que dióxido de carbono, los ácidos fórmico y oxálico más dióxido de carbono que metano, y de la hidrólisis de urea no puede obtenerse metano (Fernández Polanco y Seghezze 2015).

Tabla 4.- Ventajas del tratamiento anaerobio

VENTAJAS	Alta eficiencia. El sistema puede alcanzar buenas eficiencias de remoción a altas cargas y bajas temperaturas.
	Simplicidad. La construcción y operación de los reactores anaeróbicos es relativamente simple.
	Flexibilidad. El tratamiento anaeróbico se puede aplicar fácilmente a pequeña o gran escala.
	Bajos requerimientos de espacio. El área necesaria para instalar un reator anaeróbico es baja, sobre todo cuando es posible tratar altas cargas orgánicas.
	Bajo consumo de energía. El consumo de energía es prácticamente despreciable, ya que no se necesita calentar el influente para alcanzar la temperatura de operación y las operaciones de planta pueden realizarse por gravedad. Por otra parte, se produce energía durante el proceso en forma de gas metano.
	Baja producción de lodo biológico. La producción de lodo es más baja que en los métodos aeróbicos, debido a las bajas tasas de crecimiento de las bacterias anaeróbicas. El lodo que se produce está completamente estabilizado para disposición final y tiene buenas condiciones de deshidratabilidad. Puede ser preservado por largos períodos de tiempo sin una reducción significativa de la actividad metanogénica, permitiendo su uso como inóculo para “sembrar” otros reactores.
	Bajos requerimientos de nutrientes y productos químicos. Especialmente en el caso de líquidos cloacales, es posible mantener un pH adecuado y estable sin la adición de químicos. Macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes están presentes en general en los líquidos cloacales, mientras que no hay compuestos tóxicos.

Fuente: Fernández y Seghezze, 2015.

Tabla 5.- Desventajas del tratamiento anaerobio

DESVENTAJAS	Baja remoción de patógenos y nutrientes. Los microorganismos patógenos son sólo removidos parcialmente, excepto los huevos de helmintos, los cuales son capturados efectivamente en el manto de lodo. La remoción de nutrientes tampoco es completa, por lo que se requiere post-tratamiento para ello.
	Larga puesta en marcha. Debido a las bajas tasas de crecimiento de las bacterias anaeróbicas, la puesta en marcha de un reactor anaeróbico lleva mucho tiempo, en comparación con un sistema aeróbico, siempre y cuando no haya un buen inóculo disponible.
	Posibilidad de malos olores. Durante el proceso anaeróbico se produce sulfuro de hidrógeno, sobre todo cuando existe alta concentración de sulfatos en el influente. Para evitar la producción de malos olores se requiere un manejo adecuado del biogas.
	Necesidad de post-tratamiento. Para alcanzar los límites de volcamiento impuestos en general por las leyes ambientales, es necesario algún tipo de post-tratamiento.

Fuente: Fernández y Seghezzo, 2015.

2.2.5. Tecnologías Implementadas para la depuración de camales

La tecnología desarrollada para el tratamiento del agua residual generada en los centros de beneficios de animales se basa principalmente en la degradación anaerobia. Los procesos anaerobios son bastante apropiados para depurar las aguas residuales provenientes de rastros, debido a la naturaleza de estos desechos. Altas cargas de DBO y de sólidos en suspensión, son características propias de las descargas de los rastros y son, además, puntos clave para el éxito del tratamiento anaerobio. La implementación de sistemas de tratamiento aerobio para el agua residual de rastro ha sido menos frecuente, dada la gran cantidad de lodos producidos durante la degradación de los contaminantes, lo que implica establecer otro tren de tratamiento para estabilizarlos o disminuirlos, aumentando así el costo total del tratamiento de los efluentes de los rastros (Reyes Pantoja 2009).

Se han desarrollado diversos proyectos con diferentes configuraciones de reactores anaerobios de una sola etapa para el tratamiento de aguas residuales de rastros. Estudiaron la opción de tratar los efluentes por medio de un reactor anaerobio de lecho fluidificado y continuamente

agitado (H. van der Spoel). Llevaron a cabo investigaciones a nivel de laboratorio con reactores anaerobios de flujo ascendente con lecho de lodos (UASB), haciendo la comparación con lodos en flóculos y lodos en gránulos y demostrando que la digestión de la DQO insoluble es más fácil con el lodo floculado, mientras que los lodos en gránulos permiten con mayor facilidad la digestión de la DQO soluble. Además, concluyeron que, al usar sistemas de tratamiento anaerobio de una sola etapa, ya sea lodo granular o floculado, sólo se proporciona un tratamiento parcial de los efluentes de rastros.

Evaluaron el desempeño de un UASB para el tratamiento de un efluente de rastro. Utilizaron como pretratamiento un sistema de flotación por aire disuelto (DAF). La operación del reactor UASB fue a 30°C, la eficiencia de remoción alcanzada fue de 90% para el agua pretratada y de 72-75% para el agua sin pretratamiento. Estudiaron también el funcionamiento a gran escala de un sistema DAF-UASB para el tratamiento de efluentes de un rastro en Brasil. La eficiencia de remoción global de DQO del sistema fue de 83-84% (Manjunath 2000).

Tabla 6.- Reactores y características de operación empleadas para el tratamiento anaerobio para aguas residuales de Centro de beneficios de animales

Reactor	Carga orgánica, kg DQO·m ⁻³ ·d ⁻¹	TRH, d	DQO insoluble, %	Remoción de DQO total, %
UASB _f	3.5	0.3	40-50	70
UASB _g	11	0.5-0.6	40-50	55-85
UASB _f	6.5	1-2	12-33	60-90
Filtro Anaerobio	1.4	0.5	-	80
Filtro Anaerobio	2-18.5	0.5-5	45	30-85
Filtro Anaerobio	5	1.5	12-33	63-85
UASB-UASB	15	0.2	55	90
UASB-FA	5-32	0.1-0.5	10	45-98
Lecho fluidificado	35	0.1-0.3	4	85
EGSB	15	0.2	45	70

UASB_f – UASB con lodo floculado; UASB_g – UASB con lodo granular; FA – Filtro anaerobio; TRH – Tiempo de residencia hidráulica; EGSB – Reactor anaerobio de lecho granular expandido, por sus siglas en inglés

Fuente: Núñez y Martínez (1999)

Tabla 7.- Aplicación del reactor anaerobio en el tratamiento de aguas residuales domésticas a temperaturas bajas

	Temperatura (°C)	Concentración del afluente (mg/L)				Inoculo	Tiempo de retencion (horas)	Eficiencia de remocion (%)			
		DQO	DQO disuelta	DBO	SST			DQO	DQO disuelta	DBO	SST
Sudafrica	20	500	148	–	np	Lodo activado	24	90	49	–	60-65
Holanda	21	520-590	73-75	–	np	Lodo desague digerido	9	57-79	50-60	–	30-70
Holanda	12-18	420-920	55-95	–	np	Lodo desague digerido	32-40	48-70	30-45	–	90
Holanda	18-20	248-581	163-376	–	np	Lodo granular	12	72	62	–	np
Holanda	7-18	100-900	–	53-474	10-700*	Lodo granular	4-14	45-72	38-59	–	50-89
Holanda	10-18	100-900	–	53-474	10-700*	Lodo granular	9-16	46-60	42-48	–	5-75
Holanda	11-19	100-900	–	53-474	10-700*	Lodo granular	6.2-18	31-49	23-46	–	np
Colombia	25	267	–	95	50-400*	Excremento vacuno digerido	6-8	75-82	–	75-93	70-80
Holanda	12-20	190-1180	80-300	np	np	Lodo granular	7-8	30-75	20-60	–	np
Holanda	12-20	150-600	70-250	–	np	Lodo granular	2-3	np	20-60	–	np
Mexico	12-18	465	np	–	np	Lodo aerobico	12-18	65	–	np	73
Brazil	19-28	627	–	357	154	Ninguno	4	74	–	78	72
Italia	7-27	205-326	–	55-153	376	Ninguno	12-42	31-56	–	40-70	55-80
India	20-30	563	–	214	100-250	Ninguno	6	74	–	75	75
Holanda	>13	391	291	–	418	Lodo granular	2-7	16-34	20-51	–	Ninguno
Holanda	16-19	391	291	–	–	Crecido en arena	1.5-5.8	30	40	–	Ninguno
Colombia	NP.	np	np	np	–	np	5-19	66.72	–	79-80	6-70
Holanda	13.8	976	–	454	641	Lodo desague digerido	44.3	33	–	50	47
Holanda	12.9	821	–	467	468	Lodo desague digerido	57.2	3.8	–	14.5	5.8
Holanda	11.7	1716	–	640	1201	Lodo granular	102.5	60	–	50	71

Nota: np= no proporcionado

Fuente: Seghezzo L. Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions. 2008

2.2.6. Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB.

Los fundamentos de los reactores “U.A.S.B.” (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) fueron concebidos durante los años 1970, por el profesor Gatzte Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda. Esta sigla se refiere a los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente.

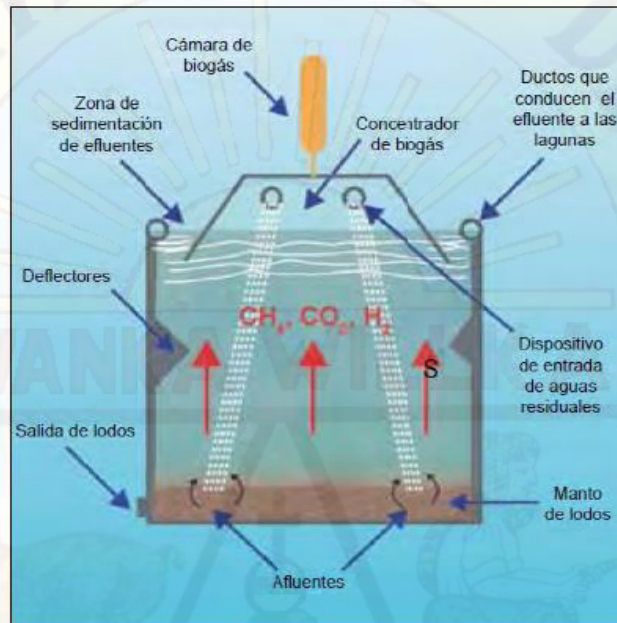


Figura 10.-Principio del sistema UASB
Fuente: MINAM 2009

El reactor anaerobio de flujo ascendente, o también conocido como RAFA, es una unidad de tratamiento biológico del tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar, haciendo ingresar el afluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo de la unidad. El agua residual que ingresa asciende, atravesando por un manto de lodos conformado por microorganismos de tipo anaerobio. En la parte superior existe una campana que facilita la separación de la fase líquida y gaseosa, de modo que el efluente clarificado sale hacia el postratamiento. Los parámetros de diseño usualmente empleados para el cálculo de las dimensiones del reactor se dan en el siguiente cuadro. (MINAM 2009).

Tabla 8.-Principales parámetros de diseño para reactor UASB

Criterios	Para flujo promedio
Carga volumétrica hidráulica.	<4.0 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica.	6.0 - 9.0 h
Velocidad ascendente.	0.5 - 0.7 m/h
Tasa de sobreflujo en la zona del clarificador.	14.4 - 19.2 m ³ /m ² .d
Tiempo de detención hidráulica en la zona del clarificador	1.5 - 2.0 h
Producción de sólidos.	0.1 - 0.2 kg. TSS/kg. Infl. COD
Concentración en exceso de lodo.	2.0 - 5.0 por ciento
Peso específico del lodo.	1020 - 1040 kg. SST/m ³

Fuente: MINAM 2009

El éxito del concepto UASB radica en el establecimiento de un denso manto de lodo en la zona inferior del reactor, en el cual tienen lugar la totalidad de los procesos bacterianos que conducen a la eliminación de la contaminación orgánica. Este manto o lecho de lodo se forma por acumulación de sólidos suspendidos y bacterias en crecimiento. La turbulencia generada por el flujo de agua residual doméstica (ARD) que ingresa al reactor y el burbujeo ocasionado por la producción de biogás son suficientes para asegurar un buen contacto entre el agua residual doméstica (ARD) y la biomasa bacteriana bajo ciertas condiciones, se observó el desarrollo de flóculos y gránulos bacterianos densos con excelentes propiedades de sedimentación que no son susceptibles de ser lavados fuera del reactor por el flujo ascendente aplicado, dentro de un amplio rango de velocidades ascensionales. La turbulencia natural que se origina por la producción de biogás provee mezclado interna y asegura un buen contacto efluente-biomasa en los sistemas UASB (Fernández Polanco y Seghezze 2015).

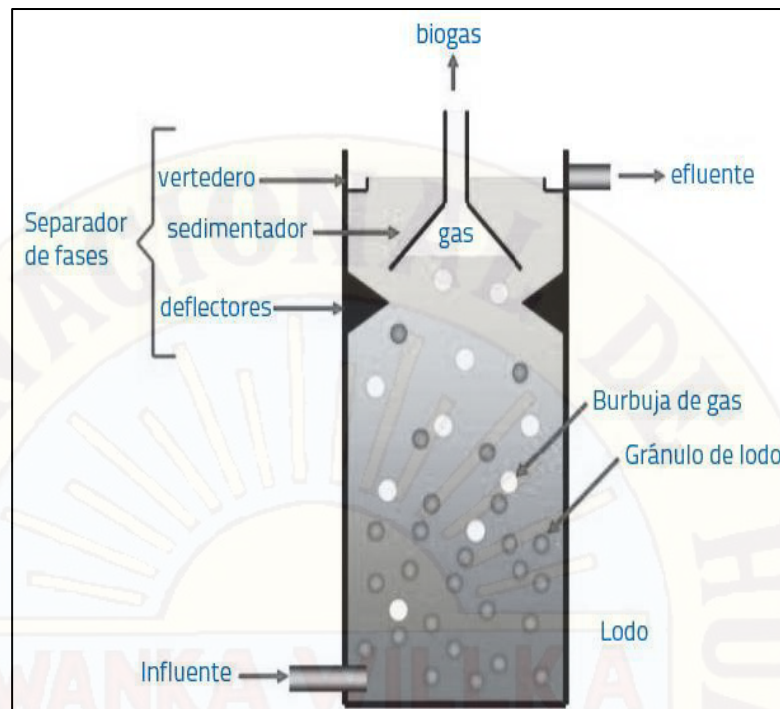


Figura 11.-Diagrama esquemático de un reactor UASB

Fuente: Fernández y Seghezzo, 2015.

Tabla 9.- Fundamentos del reactor UASB

▪ Flujo ascendente del efluente a tratar.
▪ Generación de un manto de lodos floculento o granular.
▪ Buenas propiedades de sedimentación del lodo, si no está expuesto a agitación mecánica intensa (destrucción de agregados)
▪ Contacto con el sustrato provisto por la agitación del propio gas producido y por el flujo ascendente del influente
▪ Retención de gránulos en el dispositivo de separación gas-sólido (en contra de la velocidad ascensional y la producción de biogas). Pendiente del separador: 50°

Fuente: Fernández y Seghezzo, 2015.

Tabla 10.- Características del sistema UASB

VENTAJAS	DESVENTAJAS
- Elevada capacidad tratamiento	- Proceso de granulación difícil de controlar
- Bajo THR	- La granulación depende del agua
- Alta eficacia eliminación DQO	- La puesta en marcha puede requerir fango granular
- Bajo requerimiento energético	- Sensible a sobrecargas orgánicas
- No necesita soporte	- Útil para agua sin SS
- Fácil construcción	- Ca^{+2} y NH_4^{+} inhiben la granulación
- Gran experiencia práctica	- El re arranque puede provocar la flotación de los gránulos
	- Requiere grandes superficies

Fuente: Fernández y Seghezze, 2015.

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 (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

Debido a la formación de flóculos de lodos granulados, la concentración en la zona más difusa, en la parte superior del manto de lodos del UASB es de 5 a 40 gramos /litro. En la parte inferior del reactor, la concentración de sólidos puede variar de 50 a 100 gr / Litro (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

Las partículas de lodo granulado tienen un rango de tamaño de 1.0 a 3.0 mm ver la siguiente figura.



Figura 12.-Gránulos de lodo Activado en un Reactor UASB

Fuente: Marquez y Martinez, 2011.



Figura 13.- Ejemplo de lodos encontrados en cada zona de un reactor UASB

Fuente: Marquez y Martinez, 2011.

La granulación es muy efectiva en aguas residuales con alto contenido de carbohidratos o azúcares, pero no tanto con las aguas residuales con gran contenido de proteínas, las cuales tiene como resultando flóculos más suaves difíciles de sedimentar (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011)

Otros factores que afectan el desarrollo de sólidos granulados son:

- ✚ El pH, este debe ser mantenido cerca de 7.0, y es recomendada una relación DQO: N: P durante el inicio de 300:5:1, mientras que una proporción más baja se puede utilizar durante la operación de estado estacionario de 600:5:1.

- ✚ La velocidad del flujo ascendente.
- ✚ La adición de nutrientes
- ✚ La presencia de otros sólidos en suspensión del manto de lodo, ya que pueden inhibir la densidad y la formación de lodo granulado

2.2.6.1. Consideraciones para el diseño de un reactor UASB

Dentro de los aspectos a considerar para el diseño de un reactor anaerobio de flujo ascendente se encuentran las características de aguas residuales en términos de la composición y contenido de sólidos, la carga orgánica volumétrica, la velocidad de flujo ascendente, el volumen del reactor, las características físicas, como el sistema de distribución del efluente y el sistema de recolección de gas (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

2.2.6.1.1. Características de aguas residuales

Ciertas sustancias pueden afectar negativamente a la granulación de lodos, ya que aguas residuales con altas concentraciones de proteínas y/o grasas reducen la capacidad de formar un denso lodo granulado. La fracción de las partículas contra DQO soluble es importante para determinar las cargas de diseño para el UASB, así como la determinación de la aplicabilidad del proceso. Cuánto más se incremente la fracción de sólidos en un agua residual, la habilidad de formar lodos densos disminuye (Fernández Polanco y Seghezze 2015).

2.2.6.1.2. La Carga orgánica (CO)

Por otra parte, la CO es la cantidad de materia orgánica que se introducirá en el reactor. Si se expresa por unidad de volumen del reactor, es la

carga orgánica “volumétrica” (COV). (Fernández Polanco y Seghezzi 2015)

$$COV = \frac{Q * C}{V} = \frac{C}{TRH}$$

Donde:

COV = carga orgánica volumétrica (kgDQO/m³/día)

C = concentración (kgDQO/m³)

La CO se puede también expresar en términos de la cantidad de materia orgánica alimentada al reactor por unidad masa de sólidos suspendidos volátiles (SSV), suponiendo que los SSV son una indicación de la cantidad de bacterias viables disponibles en el reactor. Esta CO se llama carga orgánica “específica” (COE) o carga “del lodo”:

$$COE = \frac{Q * C}{V * X}$$

Donde

COE = Carga Orgánica Específica
(kgDQO/kgSSV/día)

X = Concentración activa de lodo en el reactor
(kgSSV/m³)

2.2.6.1.3. Tiempo de retención hidráulico (TRH)

El punto más delicado de todo el proceso de diseño es la selección del Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y la carga orgánica (CO) apropiada. Nada puede sustituir aquí el consejo de un experto en el tema. En caso de que no exista un estudio que haya determinado experimentalmente estos parámetros para las condiciones locales, estos dos valores se obtienen generalmente de una revisión cuidadosa de la bibliografía especializada. Una selección incorrecta

de estos parámetros comprometerá la confiabilidad de todo el proceso de diseño (Fernández Polanco y Seghezzi 2015).

El parámetro de tiempo de retención hidráulico es de fundamental importancia. Para temperaturas próximas a los 20°C, el tiempo de retención hidráulica puede variar entre 6 y 16 horas, dependiendo del tipo de agua residual (De lemos Chernicharo 2013).

Los valores tiempo de retención hidráulico para las aguas residuales de alta fuerza se han logrado disminuir a lapsos de 4 a 8 horas a esas cargas. Donde menos del 90% de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) y las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) mayores de efluentes son aceptables, se puede utilizar el aumento de las velocidades de flujo ascendente, las cuales desarrollarán un lodo granulado más denso por el lavado de otros sólidos (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

Los valores de tiempo de retención hidráulico para aguas residuales de 5000-15000mgDQO/litro, donde la remoción de demanda química de oxígeno (DQO) es de 75-85% (Metcalf & Eddy 1995).

2.2.6.1.4. Velocidad de flujo ascendente

La velocidad superficial máxima en el reactor depende del tipo del lodo presente y de las cargas aplicadas. Para reactores operando con lodo floculento y con cargas orgánica de hasta 5,0 a 6,0 kgDQO/m³/día, las velocidades superficiales medias deben ser el de orden de **0,5 a 0,7 m/h**, siendo tolerados picos temporales, durante 2 a 4 horas, de

hasta 1,5 a 2,0m/h. Para reactores que operan con lodo tipo granular, las velocidades superficiales pueden ser significativamente mayores, hasta del orden de 10m/h. para el tratamiento de aguas residuales domésticas, se recomiendan las siguientes velocidades de flujo superficial. (De lemos Chernicharo 2013).

Para líquidos domésticos:

Tabla 11.- Velocidad Ascensional (m/h)

Q	v (m/h)
medio	0.5-0.7
máximo	0.9-1.1
pico	< 1.5

Fuente: Tratamiento reactores anaerobios

Para aguas residuales más débiles, la velocidad permitida y la altura del reactor, determinará el volumen del reactor UASB y para para aguas residuales más fuertes, la velocidad será determinada por la carga volumétrica de DQO (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

2.2.6.1.5. Características físicas

Las principales características físicas que requieren una cuidadosa consideración son: la alimentación de entrada, la separación y recolección de gas (Los diseños de separación de entrada y el gas son únicos para el UASB) y la retirada del efluente, para proveer una distribución uniforme y evitar el acanalamiento y formación de zonas muertas. Estos dos aspectos son muy importantes sobre todo cuando se tratan aguas residuales débiles, ya que se puede tener menor

producción de gas y mezcla del manto de lodos (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

2.2.6.1.6. Recuperación de gas y separación de sólidos

El separador de gas/ sólidos (GSS) está diseñado para recolectar el biogás, previniendo el lavado de sólidos, fomentando la separación de partículas de gases y sólidos, para permitir que los sólidos se deslicen hacia atrás en la zona de manto de lodos, y ayudar a mejorar la eliminación de sólidos en el efluente (Márquez Vázquez y Martínez Gonzáles 2011).

2.2.6.2. Funcionamiento y arranque del reactor

Para aguas industriales, que en general carecen de microorganismos adecuados, se impone la necesidad de contar con un inóculo adecuado. Además, la baja velocidad de crecimiento de los microorganismos aconseja contar con un inóculo inicial que aporte la suficiente cantidad de bacterias. Normalmente, se recurre al empleo de inóculos de amplio espectro, formados por poblaciones mixtas. El inóculo más utilizado consiste en biomasa procedente de otro digestor, por su mayor abundancia se utilizan fangos procedentes de digestores anaeróbicos urbanos, residuos ganaderos o fangos de reactores anaeróbicos industriales. El empleo de microorganismos seleccionados, que pueden adquirirse comercialmente en estado liofilizado, no acaba de imponerse. Los microorganismos presentes en el inóculo deben aclimatarse a las nuevas condiciones de operación, y en especial al nuevo medio. Algunas especies serán más capaces de adaptarse que otras, tenderá a conseguirse un nuevo equilibrio entre poblaciones, que será función de las características de la alimentación. El período de arranque del digestor es muy

importante. Un arranque mal efectuado, puede consumir mucho tiempo e incluso estropear las posibilidades de depuración. La puesta en marcha del reactor requiere trabajar inicialmente con velocidades de carga orgánica moderadas y controlar constantemente los parámetros de operación, sobre todo pH y concentración de AGV. El empleo de fangos procedentes de reactores que ha utilizado la misma agua residual, rebaja el tiempo de arranque. La fase de arranque es clave en reactores con bacterias inmovilizadas, ya que el régimen de operación no se logra hasta conseguir suficiente cantidad de bacterias adheridas. La formación de flóculos adecuados es clave de operación en reactores de lecho suspendido. Aunque no existe una evidencia total, parece que los digestores arrancados lentamente, ofrecen a la larga una mejor estabilidad. Los tiempos de arranque habituales fluctúan entre 1 y 4 meses (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

El funcionamiento del reactor UASB consiste en introducir por el fondo del reactor que va ser tratado, desde donde fluye hacia arriba a través del manto de lodos compuestos de partículas o gránulos biológicos densamente formados. Los gránulos de lodo varían de tamaño, desde 1 a 3 mm (Metcalf & Eddy 1995).

Los gases que se producen bajo condiciones anaerobias sirven para mezclar los contenidos del reactor a medida que asciendan a la superficie. El gas que asciende ayuda a formar y mantener los gránulos, mientras que el material, que se mantiene a flote gracias a los gases se estrella contra los separadores de gases y se deposita de nuevo sobre la zona en reposo de sedimentación arriba del manto de lodos. El gas es atrapado en un domo colector de gases localizado en la parte superior del reactor. Para mantener el manto de lodos en suspensión, es necesario que la velocidad de flujo ascendente tenga un valor entre 0.8 y 1 m/h (Metcalf & Eddy 1995).

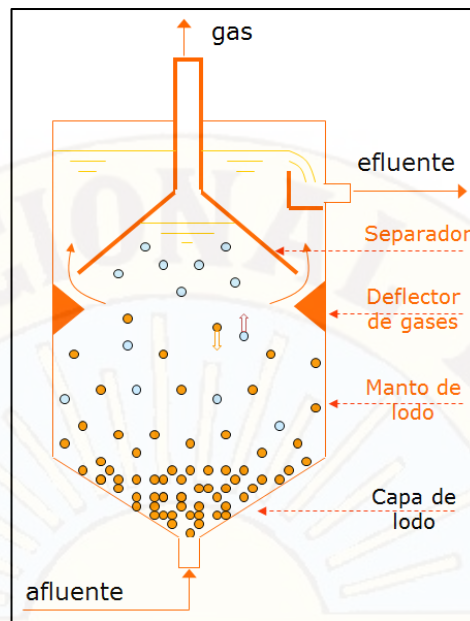


Figura 14.- Estructura de un reactor UASB típico(2002)

Fuente: Tratamiento reactores anaerobios

La característica clave del proceso UASB que permite el uso de altas cargas volumétricas de DQO, comparado con otros procesos anaerobios, es el desarrollo de lodo denso granulado; debido a esta formación la concentración de sólidos varía de 50 a 100 g/L en el fondo o base del reactor y de 5 a 40 g/L en una zona más difusa en la cima de manto de lodos del UASB (Metcalf & Eddy 1995).

El lodo formado en el reactor puede considerarse dividido en dos zonas: la zona denominada “lecho o cama de lodos”, ubicado en el fondo del reactor; y la zona denominada “manto de lodos”, que se encuentra sobre la primera. La diferencia entre estas dos zonas es la compactación de lodo, esto porque en la “cama de lodos” el lodo es mucho más compacto que en el “manto de lodos”. Los separadores sólido líquido ubicados en la parte superior del reactor sirven para sedimentar los sólidos y colectar el gas. Esta separación crea una zona de bajo nivel de turbulencia en donde un 99% del lodo en suspensión se sedimenta y es retornado al reactor.

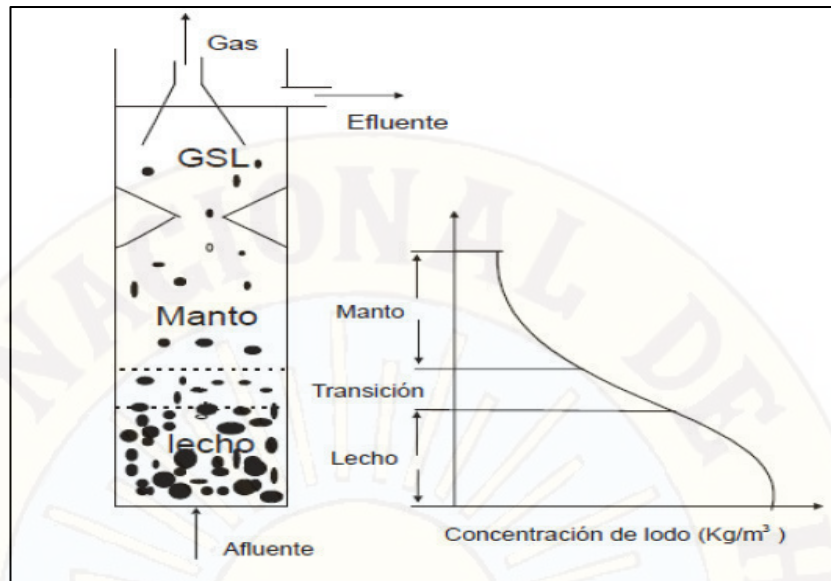


Figura 15.- Representación esquemática de un reactor UASB y la variación de la concentración de lodo con altura

Fuente: Diana Arroyo Gómez

2.2.7. Remoción de materia orgánica (medido como DQO)

La remoción de DQO en el sistema se refiere a la diferencia entre el la DQO de entrada (afluente) y la DQO de salida (efluente), en donde él % de remoción se expresa por:

$$\%DQO_{remv} = \frac{DQO_{afl} - DQO_{efl}}{DQO_{afl}} \times 100$$

En la que:

%DQO_{remv}: porcentaje de DQO removida

DQO_{afl}: concentración de DQO afluente

DQO_{efl}: concentración DQO efluente

(De lemos Chernicharo 2013).

2.3. Hipótesis.

La eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) será mayor a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

2.4. Definición de Términos.

- ✓ **Acetogénesis:** Metabolismo energética con producción de acetato, bien a partir de H_2 mas CO_2 , bien a partir de compuestos orgánicos.
- ✓ **Agua residual:** Líquidos contaminados con material fecal humano o animal.
- ✓ **Anaerobio:** Metabolismo, célula u organismo que funciona sin la intervención del oxígeno (se aplica principalmente en relación con un ser vivo).
- ✓ **Anóxico:** Sin oxígeno (se aplica principalmente a un medio de cultivo, hábitat o ambiente)
- ✓ **Camal o matadero:** Los mataderos son establecimientos en los que se sacrifican y preparan para el consumo humano determinados animales.
- ✓ **Demanda química de oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.
- ✓ **Digestión anaerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en ausencia de oxígeno.
- ✓ **Eficiencia de tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en porcentajes.
- ✓ **Fermentación:** Catabolismo anaerobio de un compuesto orgánico donde el compuesto actúa tanto de donador como de aceptor de electrones y el ATP se producen por fosforilación a nivel de sustrato.
- ✓ **Lodo granular:** Posee elevada densidad y alta actividad metanogénica.
- ✓ **Metanogénesis:** Producción biológica de metano (CH_4).
- ✓ **Reactor anaerobio de flujo ascendente:** Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula en forma ascendente a través de un manto de lodos o filtro, para la

estabilización parcial de la materia orgánica. El desecho fluye del proceso por la parte superior y normalmente se obtiene gas como subproducto.

- ✓ **Tratamiento primario:** Remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico.
- ✓ **Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de demanda bioquímica de oxígeno soluble mayor al 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida.
- ✓ **TRH:** Tiempo de retención hidráulico. 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.
- ✓ **UASB:** Reactor de manto de lodos de flujo ascendente. En ingles reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanquet). son un tipo de biorreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior. Son reactores anaerobios en los que los microorganismos se agrupan formando biogránulos.

2.5. Identificación de Variables.

- ✚ **Variable independiente:** Sistema de tratamiento “reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB)”.

Indicadores:

- Características del reactor:
 - ✓ Caudal (L/día)
 - ✓ Tiempo de retención hidráulico (TRH)

- ✚ **Variable Dependiente:** Remoción de Materia Orgánica

Indicadores:

- Concentración de componentes fisicoquímicos:
 - ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO), mg/L
 - ✓ Sólidos suspendidos totales (mg/L)
 - ✓ Aceites y grasas (mg/L)

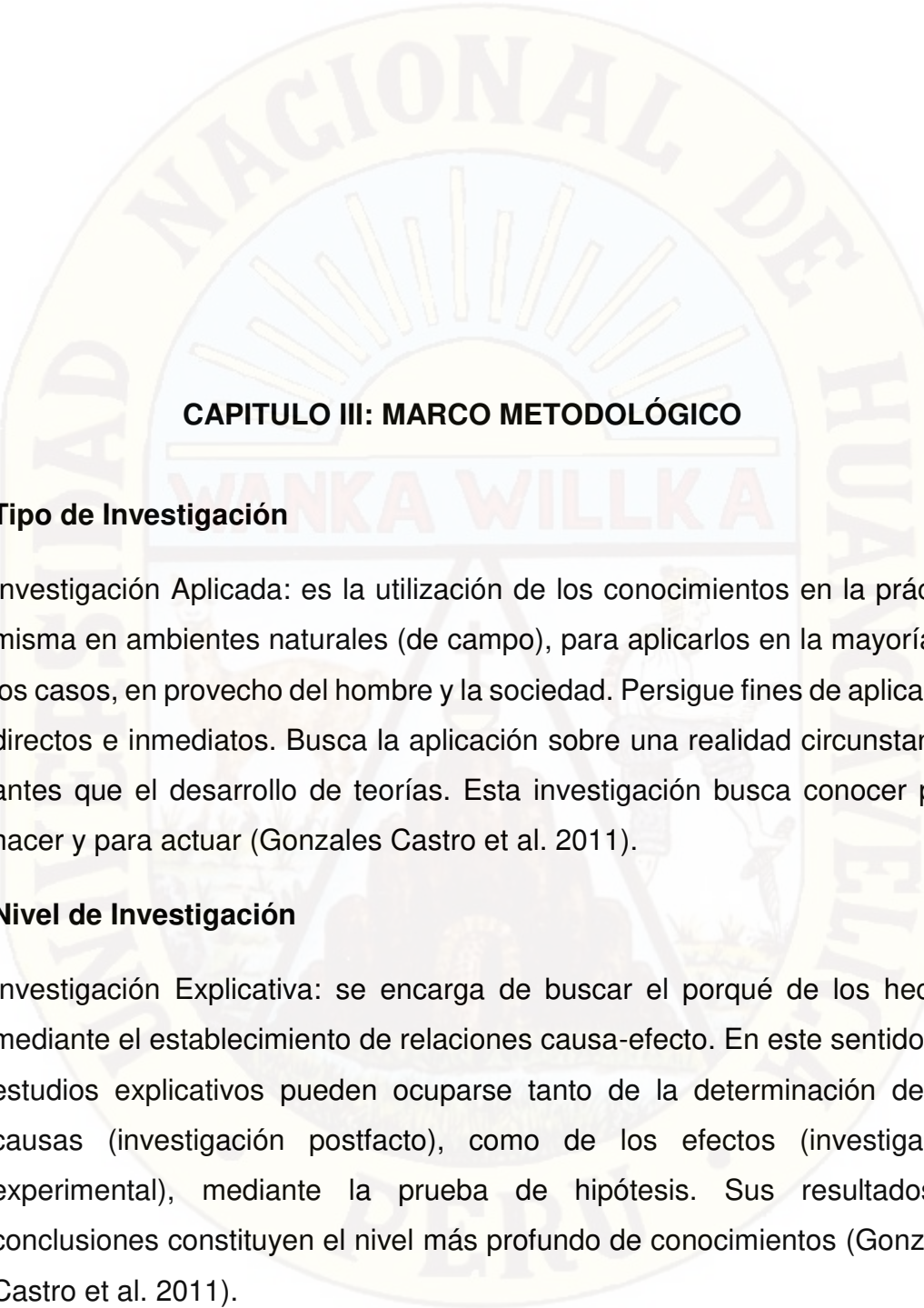
- ✚ **Variables intervinientes**

- ✓ Potencial de Hidrógeno (pH)
- ✓ Temperatura del Ambiente (°C)

2.6. Operacionalización de Variables.

Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, hubo la necesidad de operacionalizarla a través de sus variables, y de los indicadores de cada una de ella, es así que a través de la relación causa – efecto.

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
DEFINICIÓN CONCEPTUAL	VARIABLES	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD DE MEDIDA
unidad de tratamiento biológico del tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar, haciendo ingresar el afluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo de la unidad. Fuente: SINIA-2009	Independiente	Características del reactor UASB.	Caudal	Probeta, Cronometro	ml/min
	Sistema de tratamiento "reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB)".	Los instrumentos para la medición de los indicadores fueron la probeta y el cronómetro.	Tiempo de retención hidráulico	Probeta, Cronometro	horas
En el campo del tratamiento de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluado a través de la DQO (demanda química de oxígeno), lo cual mide básicamente la concentración de materia orgánica. Fuente: Jenny Alexandra	Dependiente	Concentración de componentes Físicoquímicos.	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Digestor DBR 200, Colorímetro portátil DR 900	mg/L
	Remoción de materia orgánica	Los instrumentos para la medición de los indicadores fueron digestor DBR 200, Colorímetro portátil DR 900, Erlenmeyer, Extractor Soxhlet y Ph.metro digital HI 8424.	Sólidos suspendidos totales	Erlenmeyer	mg/L
			Aceites y grasas	Extractor Soxhlet	mg/L
			pH	Ph.metro digital HI 8424	pH
			Temperatura	Ph.metro digital HI 8424	°C



CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

Investigación Aplicada: es la utilización de los conocimientos en la práctica misma en ambientes naturales (de campo), para aplicarlos en la mayoría de los casos, en provecho del hombre y la sociedad. Persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar (Gonzales Castro et al. 2011).

3.2. Nivel de Investigación

Investigación Explicativa: se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación postfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos (Gonzales Castro et al. 2011).

3.3. Método de Investigación

Se usó el método científico. La ciencia tiene como cualidades el ser metódica, reflexiva, formal y crítica. Se vale del método científico para su progreso, el

cual tiene la particularidad de usar técnicas específicas para cada área del conocimiento que son acordadas y reconocidas por cada comunidad científica para su uso (Tamayo Tamayo 2000).

El tipo de investigación del proyecto, es netamente experimental en tanto que la variable independiente incidió sobre la variable dependiente, hubo que reproducir artificialmente el fenómeno para conocer sus causas y consecuencias, por lo que requirió de la experimentación para comprobar la hipótesis, para ello se sometió la muestra problema (efluentes residuales) al reactor UASB, en la que la variable independiente hipotéticamente fue una de las causas del cambio de las variables dependientes en este caso la remoción de materia orgánica.

3.4. Diseño de Investigación

En síntesis la investigación es del tipo experimental dentro de esta tipología que para algunos autores como el caso de Sampieri, Fernandez y Baptista (Hernandez Sampieri et al. 2010). Quienes dividen los diseños experimentales en tres clases:

- a) preexperimentos,
- b) experimentos “puros”
- c) cuasi experimentos.

Teniendo como referencia esta clasificación, nuestro trabajo de investigación se encuadro dentro del diseño preexperimental, con preprueba – posprueba, el mismo se efectuó con el uso de un modelo piloto, en la que a un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo (tratamiento experimental), después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo, según el siguiente modelo:

G 01 X 02

En el que **G** representa el grupo de muestra de efluente de beneficios de Animales; **(01)**, es el valor referencial inicial del indicador (variable dependiente), antes del estímulo o tratamiento a través del reactor UASB **X** (la variable independiente), y posteriormente **(02)** el nivel que alcanzó luego del tratamiento (Hernandez Sampieri et al. 2010) .

Para conocer los valores de los indicadores de la variable dependiente antes y después del tratamiento se utilizó los métodos normalizados para análisis de aguas residuales, dados por APHA, AWWA WPCF (Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 21 edition. 2005).

3.5. Población, Muestra, Muestreo

Población: la población en la investigación fue el efluente del beneficio de animales del Camal Municipal de Huancavelica lo cual presenta un caudal promedio de 19500 Lit/día.

Muestra: En las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra. Aquí el procedimiento no es mecánico ni con base en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación (Hernadez Sampieri et al. 2010).

Por lo mencionado el tipo de muestra es no probabilística, por ello se trabajó con caudales de 50 lit/día y 58 lit/día. Estos caudales se determinaron debido a que el reactor UASB tiene un volumen útil 29 litros y los tiempos de retención hidráulico a investigar fueron de 14 y 12 horas.

Muestreo: el muestreo se realizó cuatro veces a la semana de los parámetros: temperatura ambiental, temperatura del agua residual y pH. El muestreo de demanda química de oxígeno se realizó cada tres veces por semana y una vez que termine la puesta en marcha del reactor. Los sólidos suspendidos totales y aceites y grasas se mandarían a analizar.

3.6. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

Se usó la técnica de la observación para el cual se realizó el análisis físico-químico del efluente de beneficio de animales de acuerdo a los protocolos para el análisis de laboratorio de los parámetros seleccionados.

En la etapa experimental las aguas residuales del proceso de beneficio son tratados a través de un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) piloto que permita demostrar la hipótesis planteada, es decir recolectar datos.

3.6.1. Técnicas para las pruebas Experimentales

Con el fin de efectuar las pruebas experimentales necesarias para demostrar la hipótesis planteada se instaló un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB), el reactor piloto operó en las instalaciones del Camal Municipal de Huancavelica, la ubicación de investigación se detalla a continuación.

Ubicación política

Departamento/Región	: Huancavelica.
Provincia	: Huancavelica.
Distrito	: Huancavelica.
Centro Poblado	: Paltarumi - Chuñuranra.

Ubicación geográfica

Coordenadas: UTM WGS-84

Norte : 8586053.53 m

Este : 495938.88 m

Altitud : 3710.00 m.s.n.m.



Figura 16.- Ubicación geográfica



Figura 17.- Ubicación de la zona de Investigación

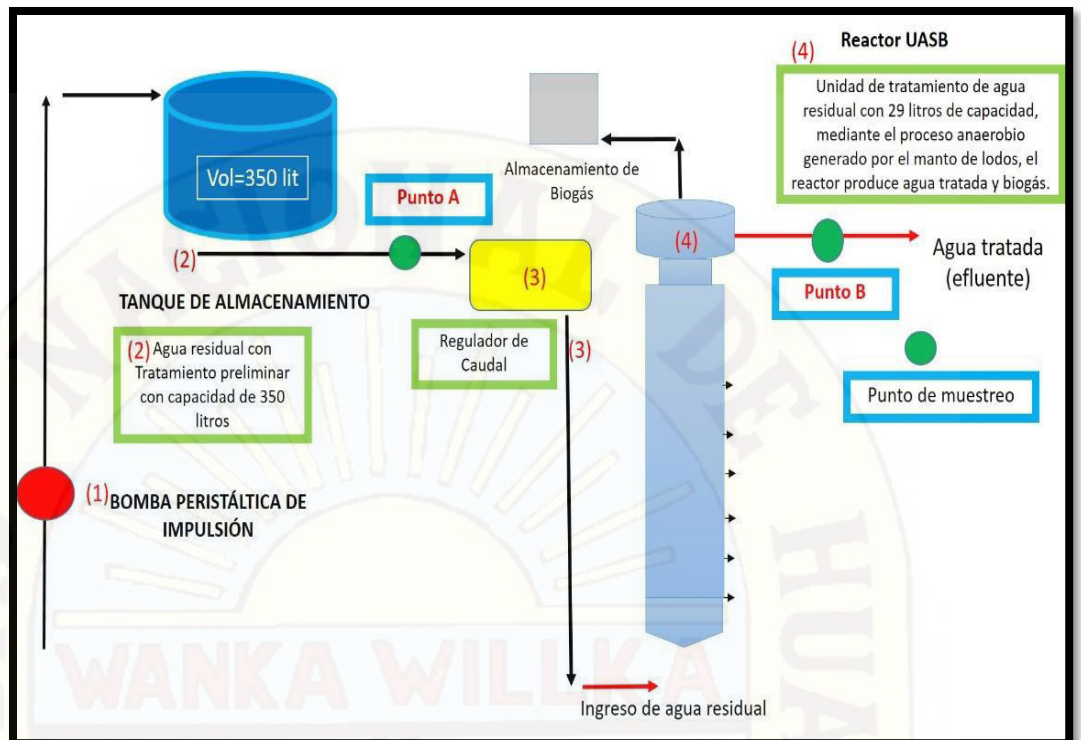
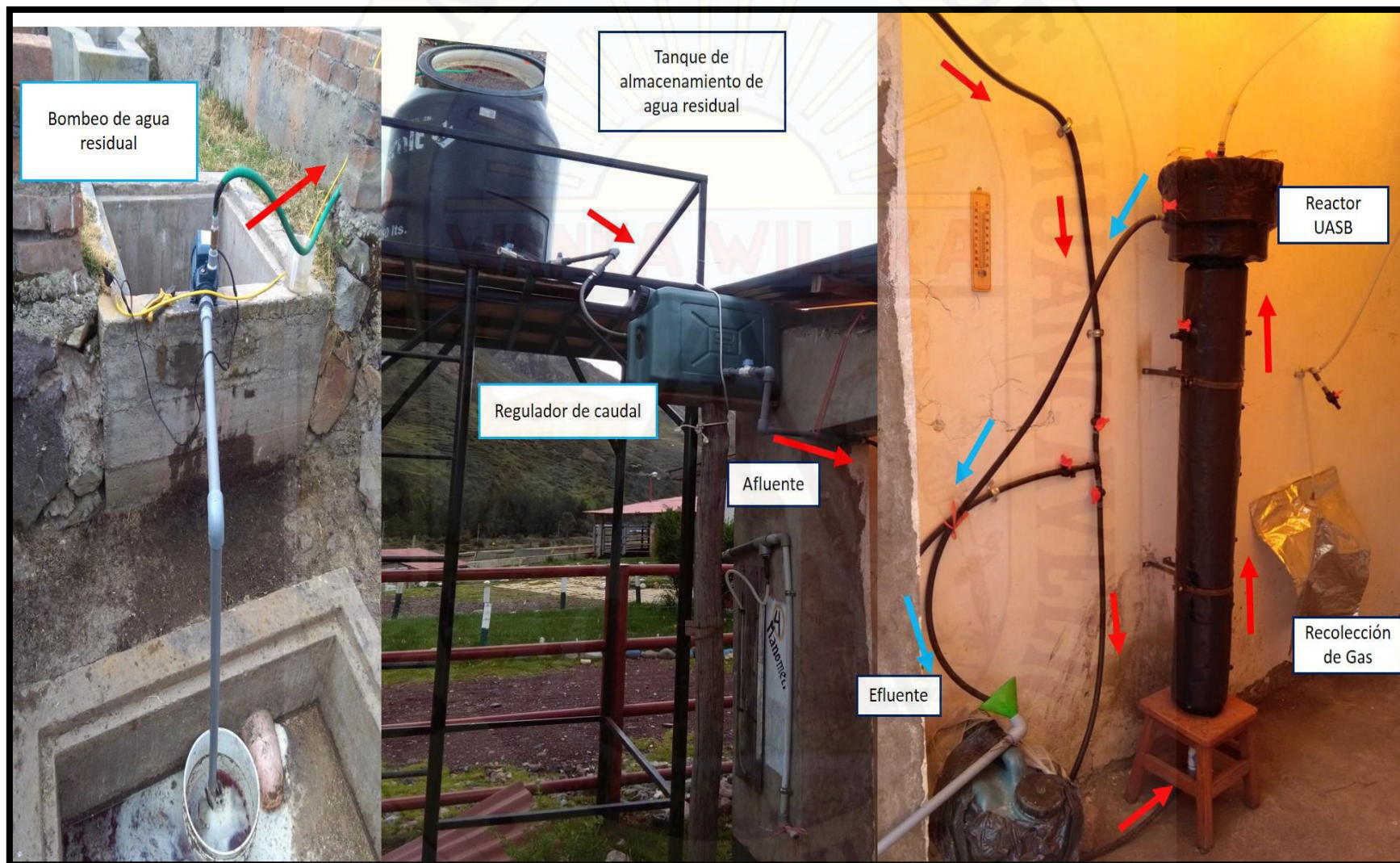


Gráfico 1.- Esquema general de la investigación

Las aguas residuales industriales del Camal Municipal de Huancavelica con pre-tratamiento (cámara de rejillas gruesas y desarenador), se llena al tanque de almacenamiento de 350 litros a través de una bomba peristáltica impulsando el agua residual, lo cual fue utilizado una vez por semana.

Posterior a ello se instaló un regulador de caudal para mantener una circulación de agua residual constante al reactor UASB.

El sistema de alimentación al reactor UASB es por una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada de PVC, estas se conectan a una manguera de $\frac{1}{2}$ pulgada, el caudal de ingreso al reactor UASB es controlado por una válvula de $\frac{1}{2}$ pulgada.



Fotografía 1.- Vista del almacenamiento de agua residual y reactor UASB

3.6.1.1. Calculo de Diseño del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente UASB a escala Laboratorio.

Tiempo de Retención Hidráulico

Para la investigación se tuvo dos tiempos de retención hidráulico de 12 y 14 horas.

Tabla 12.- Tiempo de Retención Hidráulico a Investigar

Tiempo de Retención Hidráulico		
TRH	TRH-1	TRH-2
Horas	14	12

Se tuvo este rango de TRH de acuerdo a las revisiones bibliográficas.

Altura del Reactor UASB

Una altura útil de 1.4m, por razones de operación y mantenimiento, ya que además se considera una altura de 0.5m donde estará la base de soporte metálico donde se sujetará el reactor, y a esto hay que agregarle 5cm por considerar los vertederos dentados y el borde libre, al sumar las alturas parciales resulta 1.95m, esta altura es manejable ya que podemos llegar a limpiar los vertederos con el apoyo de una silla simple (Quispe Livisi 2014).

Altura útil de reactor: 1.4m

Dimensiones del Reactor UASB

Al elegir la forma geométrica cilíndrica equivalente a una tubería de 6", por lo tanto, nuestro diámetro debe ser 0.15m. Para la zona del deflector debe consideramos un traslape de 2cm por lo tanto el diámetro de transito del traslape debe ser 0.11m, la zona de sedimentación albergara al separador de fases(S-L-G), el embudo comprado tiene un diámetro de 0.17m, por lo tanto el diámetro de zona de sedimentación debe ser 0.23m dejando un espacio en forma de anillo de 3cm en ambos lados la sección de entrada para su distribución uniforme es de forma cónica, con una altura útil

de 8cm y teniendo un diámetro de 0.15m. Respecto a las altura de una de sedimentación, el separador de fases debe tener una altura entre 15-20% altura útil, seleccionamos $15\%(1.4m)=0.20m$, por lo tanto la zona de digestión tendrá una altura útil de 1.20m, altura del deflector 4cm (Quispe Livisi 2014).

Tabla 13.- Resumen de medidas del reactor UASB a escala Piloto

Partes del UASB	Diámetro (D) m	Altura(h) m	forma	Formula	volumen (m3)
Zona de Digestión	0.15	1.2	Cilíndrica	$V = \left(\frac{D^2}{4} * \pi\right) * h$	0.0212
Zona de sedimentación	0.23	0.16	Cilíndrica	$V = \left(\frac{D^2}{4} * \pi\right) * h$	0.0066
Zona de deflector	0.11	0.04	Cilíndrica	$V = \left(\frac{D^2}{4} * \pi\right) * h$	0.0004
Zona de Ingreso	0.15	0.08	Cónica	$V = \left(\frac{D^2}{4} * \pi\right) * \frac{h}{3}$	0.0005
VOLUMEN TOTAL					0.0287

Fuente: (Quispe Livisi 2014)

Entonces el volumen total del reactor UASB será de 29 litros, para complementar el diseño final, el diámetro de recolección de efluente tratado será de 0.29m y con una altura de 0.13m. (Ver Plano P1).

Caudal de Diseño

En base al volumen del reactor y con los TRH asumidos podemos hallar para cada TRH su respectivo caudal de operación y programar dichos caudales en la bomba peristáltica.

$$Caudal = \frac{Volumen\ Reactor(29L)}{TRH_n} * \frac{1hora}{60min} * \frac{1000ml}{1L}$$

Tabla 14.- TRH y caudal de operación a investigar

TRH(h)	caudal(ml/min)	Caudal (L/día)
14	35	50
12	40	58

3.6.2. Instrumentos para la recolección de datos

- + Digestor DBR-200 y colorímetro portátil DR-900: para determinar la DQO.
- + pH.metro digital HI 8424: para determinar el pH y la temperatura del agua residual.
- + Termómetro ambiental con base de madera: para determinar la temperatura del ambiente.
- + Cinta métrica: para determinar la altura de lodo.

3.7. Procedimiento de Recolección de Datos.

Para la recolección de datos se tuvo en cuenta. El programa de monitoreo, las estaciones de monitoreo y los equipos y procedimientos para la toma de muestras.

3.7.1. Definición del programa de monitoreo

Las pruebas físico-químicas de pH y temperatura se realizaron cuatro veces al día ya que estos parámetros se asocian directamente con la eficiencia de los procesos biológicos del reactor UASB. Las pruebas físico-químicas y biológicas: sólidos suspendidos totales se mandaron analizar.

La demanda química de oxígeno (DQO), se realizó tres veces por semana por la disponibilidad de equipos, reactivos y laboratorio.

3.7.2. Determinación de puntos de monitoreo

Las estaciones de monitoreo estuvieron limitadas por el presupuesto para el desarrollo de la investigación, por lo tanto, se tuvieron que priorizar los siguientes puntos de monitoreo.



Fotografía 2.- Puntos de monitoreo del reactor UASB

Donde:

- **Punto A:** punto de ingreso al reactor UASB
- **Punto B:** Punto de salida del reactor UASB.

3.7.3. Parámetros de medición y control

A. Parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos estudiados en la presente investigación son los siguientes:

✚ Variables intervinientes

- ✓ Temperatura ambiental (°C)
- ✓ Temperatura de ingreso a reactor UASB (°C)
- ✓ Temperatura de salida del reactor UASB (°C)
- ✓ pH (unidad de pH)

✚ Variables estudiadas

- ✓ Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
- ✓ Aceites y grasas (mg/L)

3.7.4. Cronograma de medición y control

Los parámetros de control se midieron cuatro veces a la semana, las cuales son: temperatura ambiental, temperatura del agua residual y pH. La demanda química de oxígeno se analizará tres veces por semana una vez que termine la puesta en marcha del reactor. Los Sólidos suspendidos totales y aceites y grasas se mandó a analizar, lo cual son en periodos específicos como se muestra en la siguiente figura.

Tabla 15.- Control de monitoreo

Monitoreo de parametros Físicoquímicos																	
Mes	MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SETIEMBRE
Nº de semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Temperatura Ambiental	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Temperatura de Ingreso al reactor UASB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
pH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
aceites y grasas														v		v	
Sólidos Suspendidos Totales														v		v	
Demanda Química de Oxígeno total(DQO)				v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Altura de lodo del reactor	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
(x) se realizará monitoreo tres o cuatro veces por semana																	
(v) se realizará un monitoreo dos o tres veces por semana																	
semana 01 (02 de mayo del 2017)																	
semana 16 (07 de setiembre del 2017)																	

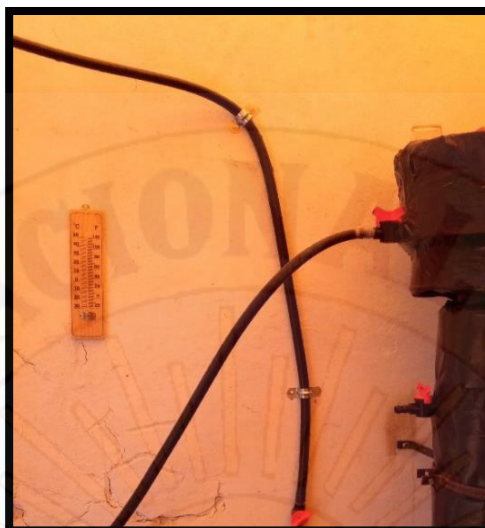
3.7.5. Método de Análisis de Laboratorio

Los métodos de análisis de laboratorio se realizaron usando técnicas analíticas adecuadas para cada caso. Se basó principalmente en los (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21 edition 2005).

3.7.5.1. Temperatura Ambiental

Para determinar la temperatura se utilizó un termómetro ambiental de pared con bulbo de mercurio.

 Instrumento: termómetro ambiental con base de madera.



Fotografía 3.- Termómetro Ambiental

3.7.5.2. pH y temperatura

✚ Instrumento: pH.metro digital HI 8424

✚ Procedimiento de medición:

- ✓ Se calibra el pH metro con tres soluciones buffer, acida, neutra y alcalina.
- ✓ Después el electrodo se coloca en la muestra analizar.
- ✓ Se presiona la opción READ, para dar lectura.
- ✓ Después el electrodo se lava con agua destilada para hacer otra medición.



Fotografía 4.- pH.metro digital HI 8424

3.7.5.3. Demanda Química de Oxígeno total(DQO)

- ✚ Para la determinación de la DQO se utilizaron los siguientes materiales y equipos; propipeta, puntas de pipeta, viales para DQO de alto rango marca Hach, un digestor Hach DBR 200 y colorímetro portátil DR-900.
- ✚ El procedimiento para su determinación es el siguiente:
 - ✓ Encender el equipo de digestión para que vaya calentando y llegue a una temperatura de 150°C
 - ✓ Marcar con plumón indeleble en la tapa del vial, la muestra a pipetear.
 - ✓ Retirar la tapa e inclinar 45°, después con ayuda de puntas de pipeta agregar 2ml de muestra.
 - ✓ Tapar con la tapa, después mezclar con mucho cuidado, no tocar la base del vial.
 - ✓ Colocar los viales al digestor a una temperatura de 150°C por 2 horas.
 - ✓ Apagar el digestor y dejar que enfrié.
 - ✓ Para su lectura se utilizó el colorímetro portátil DR/900, en la opción lectura de DQO de alto rango: (20-1500 mg/L).



Fotografía 5.- Digestor Hach DBR 200



Fotografía 6.- Colorímetro portátil DR-900

3.7.5.4. Altura de lodo del reactor

Para el control de altura de manto de lodo, se necesita anotar la altura del lodo en el día, se instaló una cinta métrica en el reactor UASB para facilitar la lectura.



Fotografía 7.- Cinta métrica para la medición de lodos

3.7.6. Periodos del Proyecto de Investigación

La investigación empezó con el arranque del reactor UASB, el 02 de mayo del 2017, se empieza a monitorear Temperatura ambiental, temperatura del agua residual y pH el 03 de mayo del 2017 hasta el 20 de junio con un tiempo de retención hidráulico de 14 horas, se continuo el 21 de junio al 13 de julio con tiempo de retención hidráulico de 12 horas. Como la eficiencia de remoción de materia orgánica disminuía en un TRH de 12 horas es por ello que se retomó el tiempo de retención hidráulico de 14 horas del 27 de julio al 07 de setiembre para encontrar mejores eficiencias de remoción de DQO. En total la investigación duro 115 días.

Tabla 16.- Periodos del proyecto de investigación

TRH	Fecha de Inicio	Fecha de finalización	días parciales
14	02/05/2017	20/06/2017	49
12	21/06/2017	13/07/2017	23
14	27/06/2017	07/09/2017	43

3.7.7. Arranque del Reactor del Reactor UASB

Antes de arrancar el reactor siempre es necesario efectuar la prueba hidráulica como mínimo de 24h para observar que no haya filtración por ninguno de los empalmes. El lodo para el arranque del reactor UASB se utilizó el lodo proveniente del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente de CITRAR-UNI este lodo se tomó a una altura de 1.5 m del UASB debido a que hay investigaciones asegurando que a dicha altura la eficiencia del lodo es la mejor. El 02 de mayo se inoculó, se hecho agua residual hasta 20cm luego se inoculo 7.5 litros de lodo al reactor UASB, luego de esto el reactor UASB se cubrió con plástico negro para evitar el crecimiento de algas al igual que los circuitos de las mangueras. Se inicia el arranque con TRH de 14 horas con un caudal de 35ml/min. Posteriormente se instaló el separador gas-sólido-líquido, por la salida del cono, conectar con una manguera de 3/8" hasta la cámara de recolección.



Fotografía 8.- Purga de lodo del reactor UASB de CITRAR-UNI para la investigación



Fotografía 9.- Inoculación de lodo al reactor UASB

3.7.8. Puntos de muestreo

Para tomar la muestra en el punto A, abrir la válvula de $\frac{1}{2}$ pulgada, dejar escurrir parte del agua unos 40 segundos, después tomar la muestra en un recipiente de 250ml.

Para el muestreo del punto B, cerrar la válvula por unos 50 segundos, después la abrirla válvula y se purga lo desechos que se acumulan en el recolector de agua tratada, después conectar una manguera de silicona de $\frac{1}{2}$ pulgada (solo para tomar muestra, se usa manguera de silicona), tomar una muestra en un recipiente de 250ml.



Fotografía 10.- Toma de muestra en el punto A (izquierda) y en el punto B (derecha).

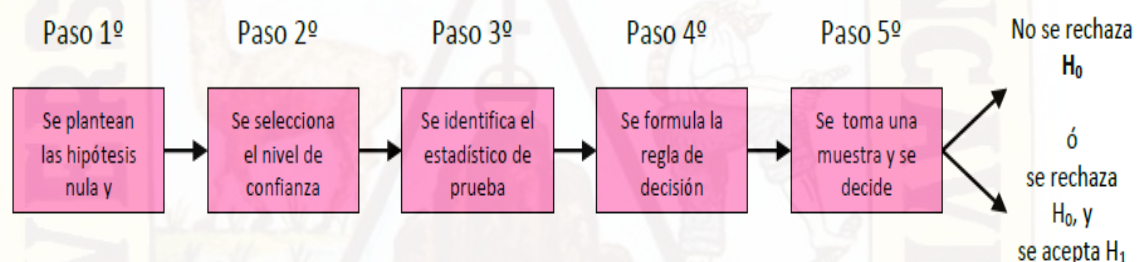
3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos.

La información resultante del monitoreo de los efluentes se procesó en hojas de cálculos tales como el Microsoft Excel 2013, de manera que el procesamiento de la información resultó lo más sencillo posible y quede disponible para los requerimientos del presente trabajo, es así que para la

etapa de contrastación de hipótesis se utilizó la prueba de T de Student, y para el análisis de datos cuantitativos el software Microsoft Excel 2013, creando una matriz de datos (observaciones) para cada una de los indicadores de la **Variable Dependiente**: (remoción de materia orgánica), para demostrar la Hipótesis:

La eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) será mayor a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.

Para la etapa de contrastación de Hipótesis, se utilizará el procedimiento **Estadístico de Prueba de Hipótesis**, con nivel de confianza de (95%) y comprobación a través del procedimiento de intervalos de confianza, como se indica en el esquema siguiente:



3.9. Ámbito de Estudio.

Trabajo de laboratorio. - Se realizó en los ambientes del laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica (Biología y Microbiología) donde se determinó los diferentes parámetros de estudio.

Trabajo de campo. - El trabajo de campo para la identificación y selección de las unidades experimentales como el reactor UASB, y la toma de muestras para los diferentes estudios se realizó en el Camal Municipal de Huancavelica en el distrito de Huancavelica. Dentro del marco general el proyecto esta intervenida en la zona de influencia del proyecto de Camisea-Provincia de Huancavelica.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados.

Se presenta los resultados de las mediciones de los parámetros DQO, sólidos suspendidos totales, temperatura ambiental, temperatura del agua residual, aceites y grasas y pH.

Los tiempos de retención hidráulica reales estudiados dadas las condiciones de campo fueron 14 horas (02 mayo al 20 junio), 12 horas (21 de junio al 13 julio). Como la eficiencia de remoción de materia orgánica disminuía en un TRH de 12 horas es por ello que se retomó el tiempo de retención hidráulico de 14 horas del 27 de julio al 07 de setiembre para encontrar mejores eficiencias de remoción de DQO.

4.1.1. Descripción de los resultados

Los resultados de la investigación se detallan a continuación:

La operación del reactor UASB inicio 02 de mayo del 2017, inoculando 7.5 litros de lodo. El tiempo para la aclimatación del lodo inoculado al reactor UASB fue de 30 días. El proceso se realizó con un tiempo de retención hidráulico de 14 horas con una caudal de circulación de 35ml/min. Se evaluó el reactor UASB a 14 y 12 horas con un caudal de 35 y 40 ml/min respectivamente, durante 16 semanas. En total el estudio duro 115 días.

Se detallan en los siguientes cuadros los resultados obtenidos por días.

Tabla 17.- Monitoreo del mes de mayo _ junio

MONITOREO DE AGUAS RESIDUALES							
TRH	DÍA	Punto de Muestreo	Temperatura Ambiental	Temperatura en el Punto de muestreo	pH	Demanda Química de Oxígeno (total)	Altura de lodo en el reactor UASB.
			°C	°C		mg/L	cm.
14	03/05/17	PUNTO A	14	15	7.30	-	42
		PUNTO B		15.4	7.40	-	
14	05/05/17	PUNTO A	20	19	6.9	-	43
		PUNTO B		19.3	7.13	-	
14	08/05/17	PUNTO A	13	13.9	7.30	-	45
		PUNTO B		14.5	7.37	-	
14	09/05/17	PUNTO A	15	13.9	7.21	-	48
		PUNTO B		14.5	7.63	-	
14	11/05/17	PUNTO A	13	14.1	6.99	-	50
		PUNTO B		14.3	7.67	-	
14	13/05/17	PUNTO A	15	16.3	7.05	-	52
		PUNTO B		16.4	7.56	-	
14	15/05/17	PUNTO A	17	15.9	7.1	-	53
		PUNTO B		15.4	7.59	-	
14	16/05/17	PUNTO A	18	16.53	6.68	-	51
		PUNTO B		16.85	7.2	-	
14	17/05/17	PUNTO A	15	14.2	6.67	-	50
		PUNTO B		14.8	7.18	-	
14	18/05/17	PUNTO A	12	12.4	6.57	-	52
		PUNTO B		13	7.13	-	
14	21/05/17	PUNTO A	13	13.2	7.15	780	50
		PUNTO B		13.5	7.56	527	
14	29/05/17	PUNTO A	19	18.2	7.85	1110	50
		PUNTO B		18.6	7.21	461	
14	30/05/17	PUNTO A	14	13.2	7.41	715	50
		PUNTO B		13.6	7.22	459	
14	31/05/17	PUNTO A	15	15	7.56	777	50
		PUNTO B		14.8	7.18	454	
14	01/06/17	PUNTO A	13	12.4	7.41	588	52
		PUNTO B		12.7	7.62	368	
14	02/06/17	PUNTO A	15	14.2	7.52	1047	52
		PUNTO B		14.62	7.76	586	
14	07/06/17	PUNTO A	10	10.4	6.85	704	52
		PUNTO B		10.75	7.12	452	

14	09/06/17	PUNTO A	18	16.7	8.01	247	50.5
		PUNTO B		17	7.17	63	
14	10/06/17	PUNTO A	16	13.5	7.8	407	50
		PUNTO B		13.8	8.12	89	
14	13/06/17	PUNTO A	14	14.4	7.58	313	50
		PUNTO B		14.1	7.89	120	
14	14/06/17	PUNTO A	14	13.7	7.61	573	51
		PUNTO B		14	8.07	223	
14	15/06/17	PUNTO A	13	15.32	7.97	964	51.5
		PUNTO B		15.87	8.02	345	
14	20/06/17	PUNTO A	15	14.2	7.73	996	52
		PUNTO B		13.8	7.19	460	

Tabla 18.- Monitoreo del mes de Junio – Julio

TRH	DÍA	PUNTO DE MUESTREO	Temperatura Ambiental	Temperatura en el Punto de muestreo	pH	Demanda Química de Oxígeno (total)	Altura de lodo en el reactor UASB.
			°C	°C		mg/L	cm.
12	26/06/17	PUNTO A	13	14.5	7.57	952	51
		PUNTO B		14.8	7.35	622	
12	27/06/17	PUNTO A	9	10.5	7.09	1280	51
		PUNTO B		10.4	7.85	874	
12	29/06/17	PUNTO A	15	14.9	7.21	904	51
		PUNTO B		15.1	7.54	595	
12	30/06/17	PUNTO A	12	11.9	7.17	979	51
		PUNTO B		12.2	7.75	618	
12	04/07/17	PUNTO A	12	13.5	7.65	949	50
		PUNTO B		13.8	7.52	585	
12	06/07/17	PUNTO A	13	13.4	7.21	1057	50
		PUNTO B		13.3	7.47	643	
12	07/07/17	PUNTO A	10	10.3	6.94	1083	50
		PUNTO B		10.7	7.87	646	
12	10/07/17	PUNTO A	14	14.2	7.26	929	50
		PUNTO B		13	7.47	537	
12	11/07/17	PUNTO A	11	12.7	7.24	988	50
		PUNTO B		13.4	7.48	576	
12	13/07/17	PUNTO A	14	13.2	7.65	849	50
		PUNTO B		13.6	7.9	501	

Tabla 19.- Monitoreo del mes de julio – Setiembre

TRH	DÍA	PUNTO DE MUESTREO	Temperatura Ambiental	Temperatura en el Punto de muestreo	pH	Demanda Química de Oxígeno (total)	Altura de lodo en el reactor UASB.
			°C	°C		mg/L	cm.
14	27/07/17	PUNTO A	16	15.4	7.05	-	45
		PUNTO B		15.7	7.15	-	
14	01/08/17	PUNTO A	14	15.4	7.4	-	50
		PUNTO B		15.3	8.03	-	
14	03/08/17	PUNTO A	13	13.2	7.17	-	52
		PUNTO B		15.1	7.63	-	
14	07/08/17	PUNTO A	16	16.8	7.46	-	58
		PUNTO B		16.3	7.48	-	
14	08/08/17	PUNTO A	17	17	7.81	-	60
		PUNTO B		17	7.63	-	
14	10/08/17	PUNTO A	13	12.4	7.35	-	62
		PUNTO B		14	7.52	-	
14	11/08/17	PUNTO A	19	18.4	7.41	-	65
		PUNTO B		18.7	7.8	-	
14	13/08/01	PUNTO A	14	13.4	7.65	949	70
		PUNTO B		13.3	7.99	637	
14	16/08/17	PUNTO A	20	18.4	7.89	1120	76
		PUNTO B		18.2	8.06	637	
14	17/08/17	PUNTO A	17	15.1	7.96	1063	75
		PUNTO B		15.7	7.97	615	
14	18/07/17	PUNTO A	14	14.6	7.46	914	74
		PUNTO B		15.8	8.24	551	
14	21/08/17	PUNTO A	11	11.5	7.53	1067	75
		PUNTO B		12.2	8.32	678	
14	22/08/17	PUNTO A	20	19.9	7.53	776	75
		PUNTO B		19.5	7.74	402	
14	23/08/17	PUNTO A	18	16.2	7.63	812	75
		PUNTO B		15.8	8.22	441	
14	25/08/17	PUNTO A	15	15.6	7.86	827	75
		PUNTO B		15.7	8.19	449	
14	28/08/17	PUNTO A	17	16.2	6.58	904	73
		PUNTO B		15.8	7.33	394	
14	07/09/17	PUNTO A	21	18.6	7.61	1047	71
		PUNTO B		18.4	7.78	576	

De los resultados de las 16 semanas se detalla la característica de operación del reactor UASB.

Tabla 20.- Operación del reactor UASB

SEMANAS	UASB	
	Caudal (L/día) Ingreso a reactor UASB	Operación
1	50	Continuo
2	50	Continuo
3	50	Continuo
4	50	Continuo
5	50	Continuo
6	50	Continuo
7	50	Continuo
8	58	Continuo
9	58	Continuo
10	58	Continuo
11	50	Continuo
12	50	Continuo
13	50	Continuo
14	50	Continuo
15	50	Continuo
16	50	Continuo

Tabla 21.- Operación del reactor UASB

UASB		
TRH (horas)	Velocidad Ascensional (m/h)	Altura de lodo (m)
14	0.12	0.43
14	0.12	0.45
14	0.12	0.50
14	0.12	0.53
14	0.12	0.52
14	0.12	0.50
14	0.12	0.51
12	0.14	0.51
12	0.14	0.50
12	0.14	0.50
14	0.12	0.50
14	0.12	0.60
14	0.12	0.65
14	0.12	0.76
14	0.12	0.75
14	0.12	0.71

4.1.2. Resultados obtenidos por parámetro

A continuación, se detallan los resultados de monitoreo de la investigación en sus 16 semanas de evaluación de parámetros físicoquímicos.

4.1.2.1. Parámetros evaluados

A) Temperatura Ambiental

Para determinar la temperatura se utilizó un termómetro ambiental de pared con bulbo de mercurio.

Los resultados de medición de la investigación (Ver gráfico N° 02), muestra la temperatura mínima es de 9°C y máxima es 21°C, siendo la temperatura ambiental promedio 14.78°C durante los 115 días.

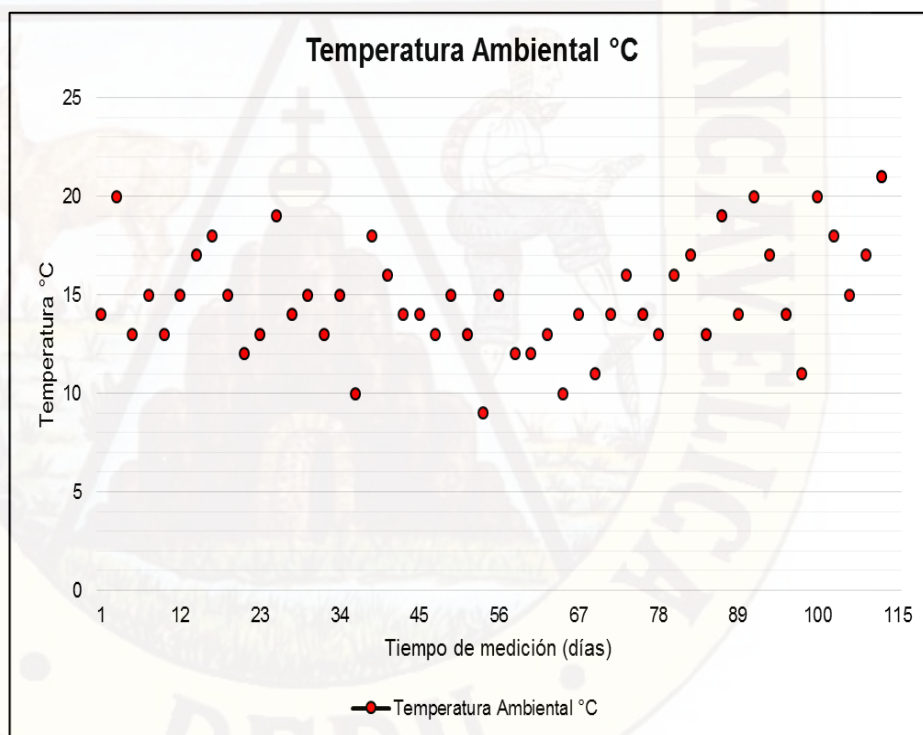


Gráfico 2.- Temperatura Ambiental (°C) Tiempo de acumulación (días)

B) Temperatura en el punto de muestreo

Se tiene 02 puntos de muestreo:

- ✓ **Punto A:** punto de ingreso al reactor UASB
- ✓ **Punto B:** Punto de salida del reactor UASB.

Para la medición de la temperatura del agua residual se utilizó el instrumento: pH.metro digital HI 8424

➤ PUNTO A

El punto "A" es el punto de ingreso de agua residual al reactor UASB.

Los resultados de la medición (Ver gráfico N°3) se obtuvo la temperatura de agua residual una máxima de 19.9°C, mínima de 10.3°C y promedio de 14.7°C son las temperaturas durante los 115 días.

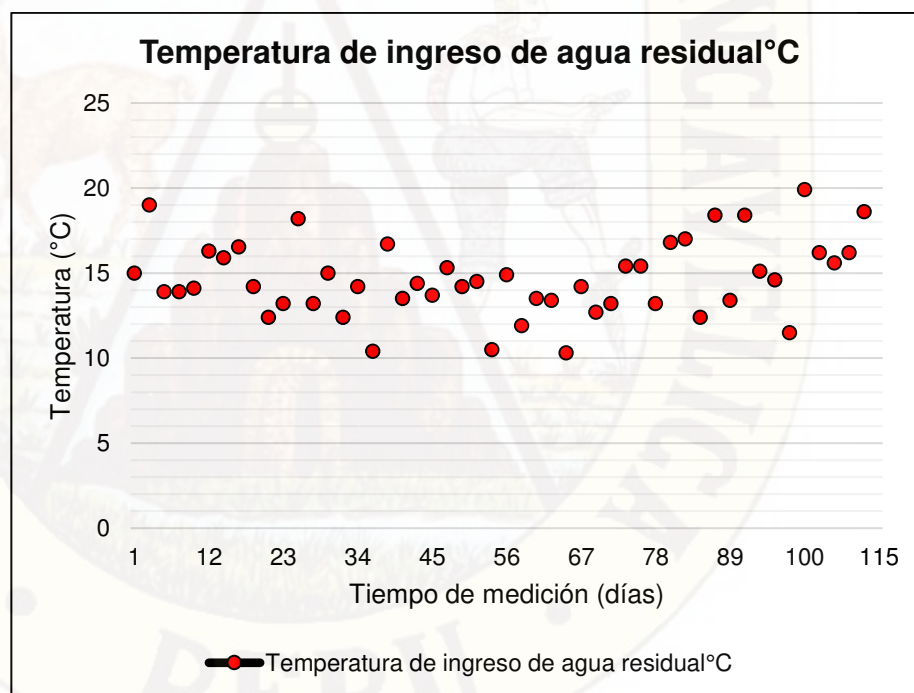


Gráfico 3.- Temperatura de ingreso de agua residual (°C)
Tiempo de acumulación (días)

➤ **PUNTO B**

El punto “B” es el punto de salida de agua residual del reactor UASB.

Los resultados de la medición (Ver gráfico N°4) se obtuvo la temperatura del agua residual una máxima de 19.5°C, mínima de 10.4°C y promedio de 14.8°C son las temperaturas durante los 115 días.

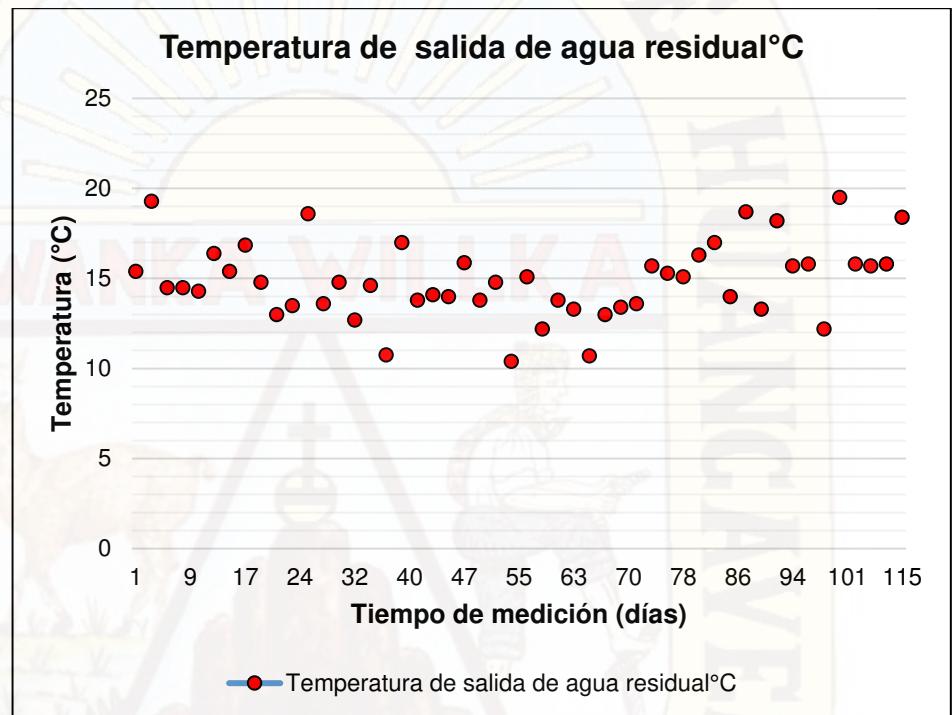


Gráfico 4.- Temperatura de salida de agua residual (°C)
Tiempo de acumulación (días)

C) pH

✓ **Punto A:** punto de ingreso al reactor UASB.

✓ **Punto B:** Punto de salida del reactor UASB.

Para el punto A (punto de ingreso al reactor UASB) se obtuvo el mínimo valor de pH que es 6.57, máximo 8.01 y en promedio 7.38, para el punto B (Punto de salida del reactor UASB) se obtuvo el mínimo valor de pH es 6.99, máximo 8.32 y en promedio 7.61 durante los 115 días.

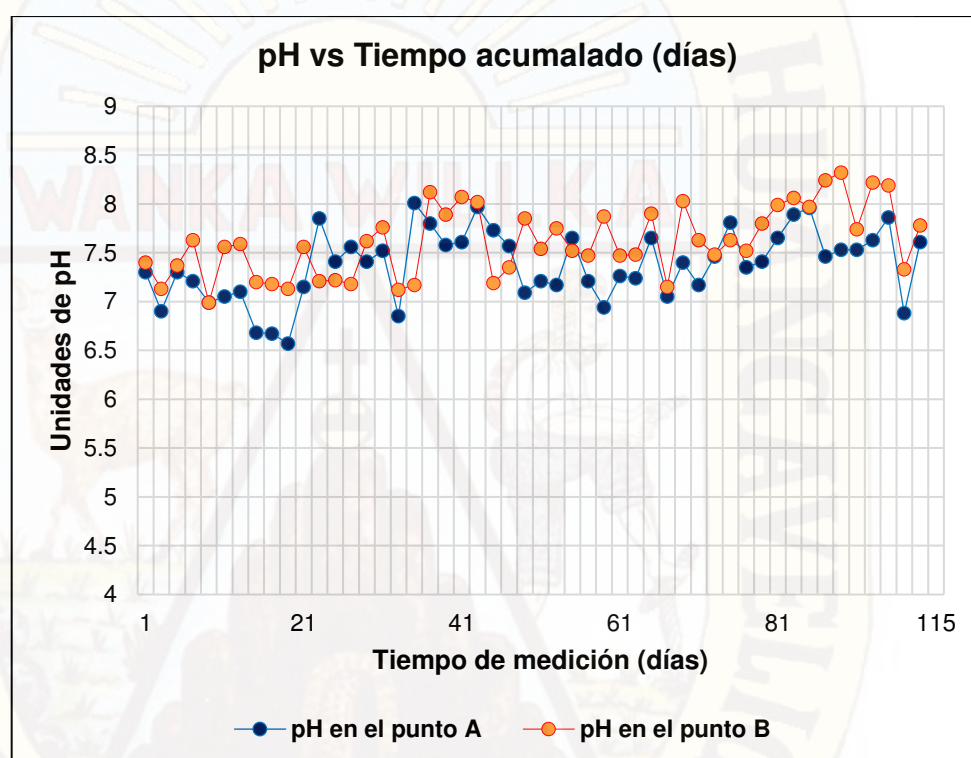


Gráfico 5.- Potencial de hidrógeno promedio (pH) vs Tiempo acumulado (días)

Tabla 22.- Resumen de Variación de pH

	pH	
	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB)	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB)
MÍNIMO	6.57	6.99
MAXIMO	8.01	8.32
PROMEDIO	7.38	7.61

D) Aceites y grasas

✓ Punto A: punto de ingreso al reactor UASB.

✓ Punto B: Punto de salida del reactor UASB.

Se mandó analizar a un laboratorio RCJ (LABS UNIVERSAL) de la ciudad de Huancayo, el 16/08/2017.

Se determinó la concentración de aceites y grasas para un TRH de 14 horas con un caudal de circulación de 35ml/min; tenemos en el punto A una mínima de 28.33mg/L, máxima de 38.02mg/L y en promedio 33.32mg/L. Para el punto B una mínima de 27.09mg/L, máxima de 28.66mg/L y en promedio 27.64mg/L.

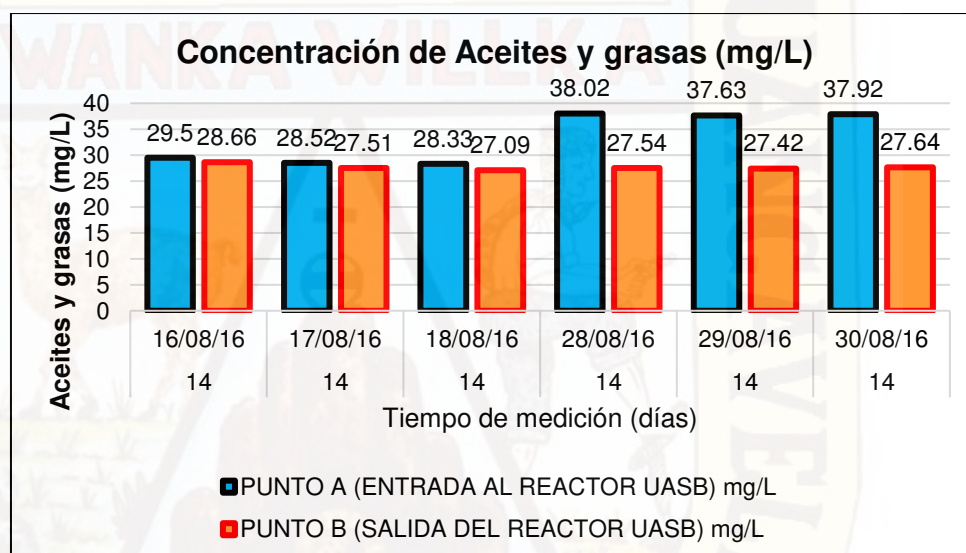


Gráfico 6.- Concentración de Aceites y grasas.

E) Sólidos suspendidos totales

Se mandó analizar a un laboratorio RCJ (LABS UNIVERSAL) de la ciudad de Huancayo, el 16/08/2017.

Se evaluó la concentración de sólidos suspendidos totales para un TRH de 14 horas con un caudal de circulación de 35ml/min; tenemos en el punto A una mínima de 522.42mg/L, máxima de 901.01mg/L y en promedio 709.49mg/L. Para el punto B una mínima de 365.04mg/L, máxima de 895.05mg/L y en promedio 623.76mg/L.

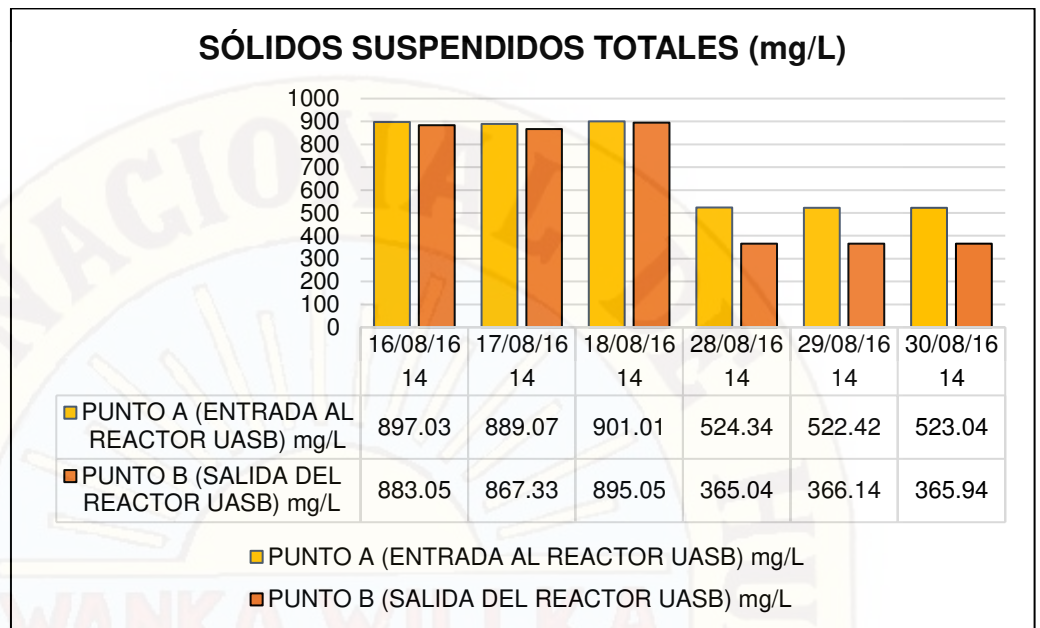


Gráfico 7.- Concentración de Sólidos Suspendidos Totales

F) Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- Se evaluó para el tiempo de retención hidráulico (TRH=14 horas) con un caudal de circulación de 35ml/min; tenemos en el punto A una DQO mínima de 247 mg/L, máxima de 1047 mg/L y en promedio 698 mg/L. Para el punto B una DQO mínima de 63mg/L, máxima de 586mg/L y en promedio 356mg/L.

Tabla 23.- Monitoreo de DQO para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas

TRH= 14 HORAS, CAUDAL Q=35ml/min					
N° de Muestra	DÍA	Temperatura Ambiental °C	TRH (Horas)	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB) mg/L	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB) mg/L
1	21/5/17	13	14	780	527
2	29/5/17	19	14	963	464
3	30/5/17	14	14	715	451
4	31/5/17	15	14	777	454
5	1/6/17	13	14	588	368
6	2/6/17	15	14	1047	586
7	7/6/17	10	14	704	467
8	9/6/17	18	14	247	63
9	10/6/17	16	14	407	94
10	13/6/17	14	14	313	120
11	14/6/17	14	14	573	235
12	15/6/17	13	14	964	343
13	20/6/17	15	14	996	460

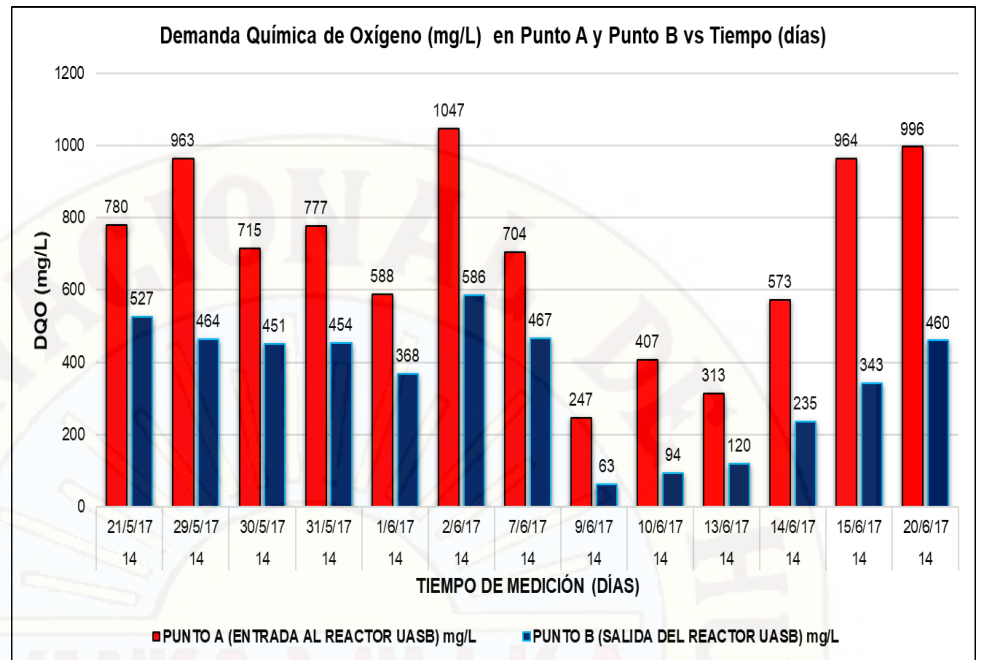


Gráfico 8.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)

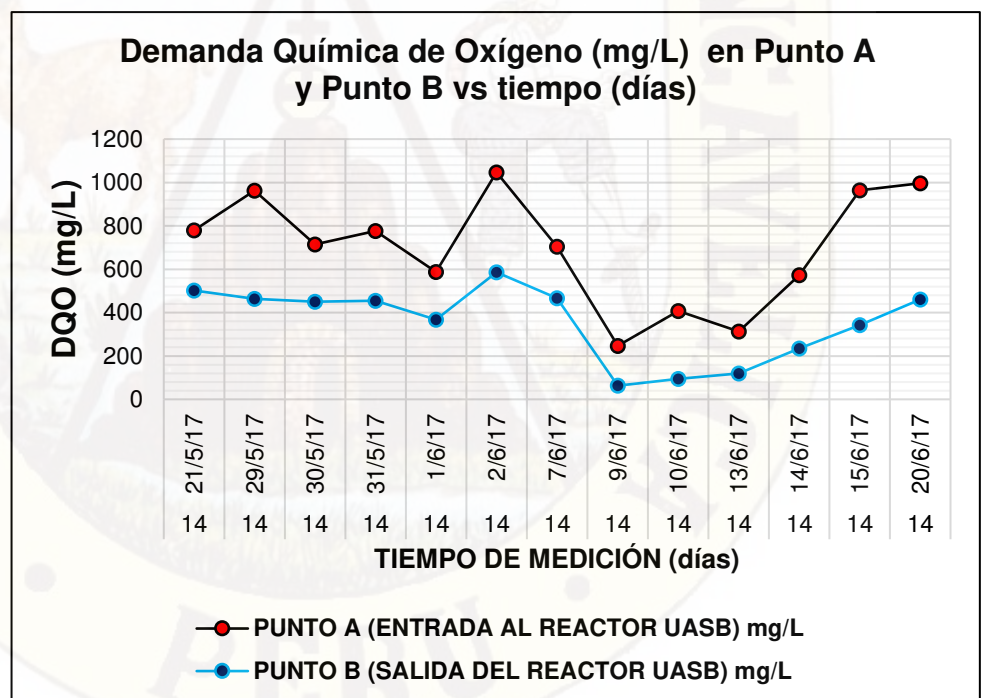


Gráfico 9.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)

- Se evaluó para el tiempo de retención hidráulico (TRH=12 horas) con un caudal de circulación de 40ml/min; tenemos en el punto A una mínima de 849 mg/L, máxima de 1280 mg/L y en promedio 997 mg/L. Para el punto B una DQO mínima de 501mg/L, máxima de 874mg/L y en promedio 620mg/L.

Tabla 24.- Monitoreo de DQO para un tiempo de retención hidráulico de 12 horas

TRH= 12 HORAS, CAUDA Q=40 ml/min					
N° DE MUESTRA	FECHA	Temperatura Ambiental °C	TRH (horas)	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB) mg/L	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB) mg/L
1	26/06/17	13	12	952	622
2	27/06/17	9	12	1280	874
3	29/06/17	15	12	904	595
4	30/06/17	12	12	979	618
5	04/07/17	12	12	949	585
6	06/07/17	13	12	1057	643
7	07/07/17	10	12	1083	646
8	10/07/17	14	12	929	537
9	11/07/17	11	12	988	576
10	13/08/17	14	12	849	501

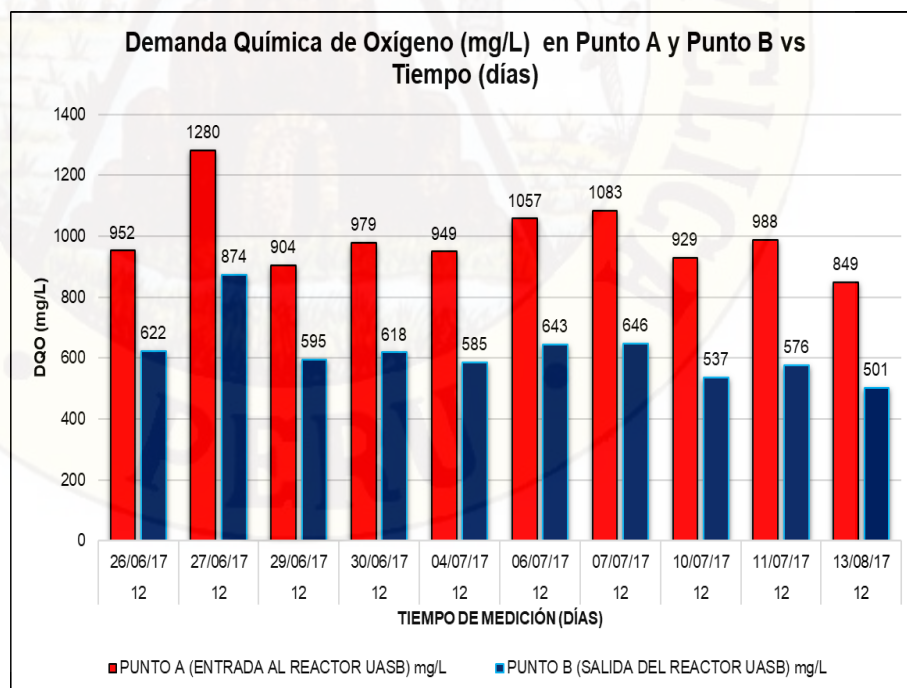


Gráfico 10.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)

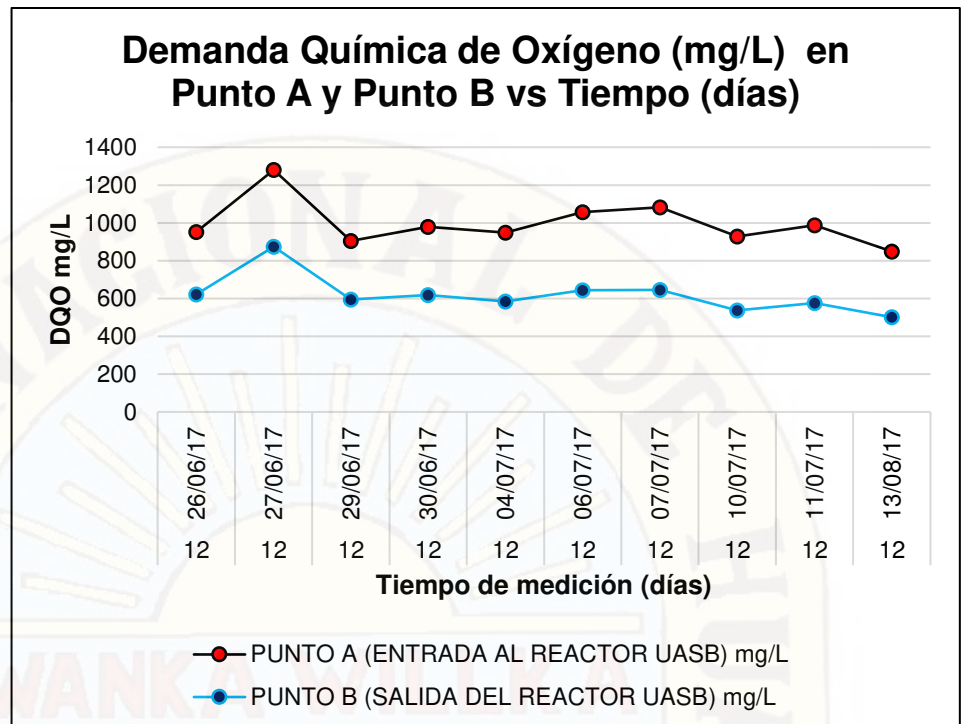


Gráfico 11.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)

- Como la eficiencia de remoción de materia orgánica disminuía en un TRH de 12 horas es por ello que se retomó el tiempo de retención hidráulico de 14 horas para encontrar mejores eficiencias de remoción de DQO hasta culminar la etapa de la investigación.

la evaluación retomada para el Tiempo de retención hidráulico (TRH=14 horas) con un caudal de circulación de 35ml/min; tenemos en el punto A (punto de ingreso al reactor UASB) una DQO mínima de 776 mg/L, máxima de 1120 mg/L y en promedio 948 mg/L. Para el punto B (Punto de salida del reactor UASB) una DQO mínima de 394mg/L, máxima de 678mg/L y en promedio 517mg/L.

Tabla 25.- Monitoreo de DQO para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas

TRH= 14 HORAS, CAUDAL Q=35ml/min					
N° de Muestra	FECHA	Temperatura Ambiental °C	TRH (horas)	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB) mg/L	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB) mg/L
1	13/08/17	14	14	949	589
2	16/08/17	20	14	1120	637
3	17/08/17	17	14	1063	615
4	18/08/17	14	14	914	551
5	21/08/17	11	14	1067	678
6	22/08/17	20	14	776	402
7	23/08/17	18	14	812	441
9	25/08/17	15	14	827	449
8	28/08/17	17	14	904	394
10	07/09/17	21	14	1044	416

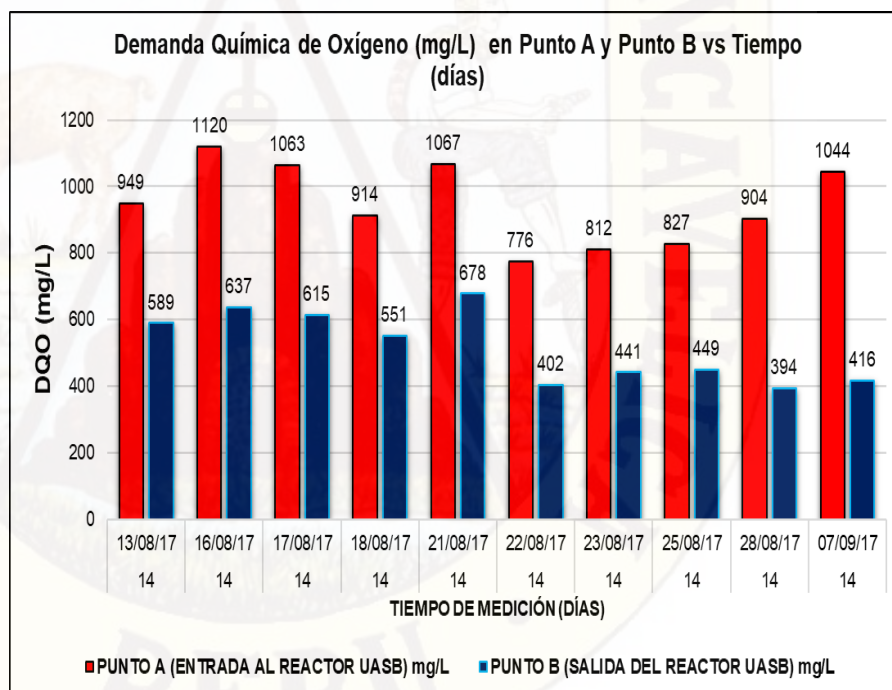


Gráfico 12.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)

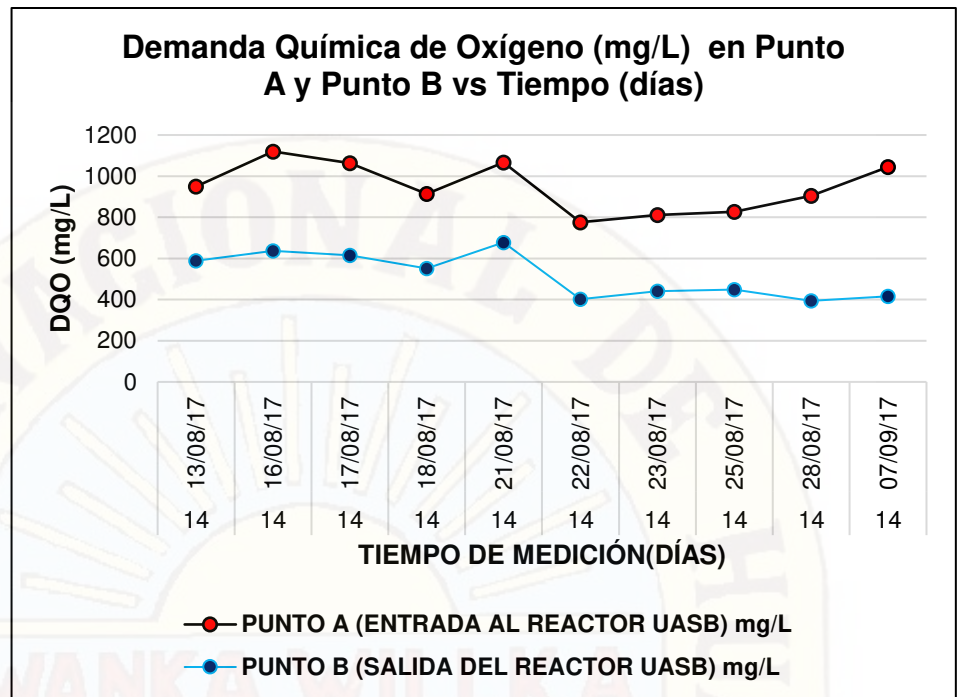


Gráfico 13.- Demanda química de oxígeno (mg/L) en Punto A y Punto B vs Tiempo acumulado (días)

G) Altura de Lodo

- Se evaluó para un TRH de 14 horas. Se inoculo 7.5 litros de lodo, se observa que la más baja altura de lodo es 42cm al inicio de la operación y la máxima altura es 53cm de fecha (15/06/17).

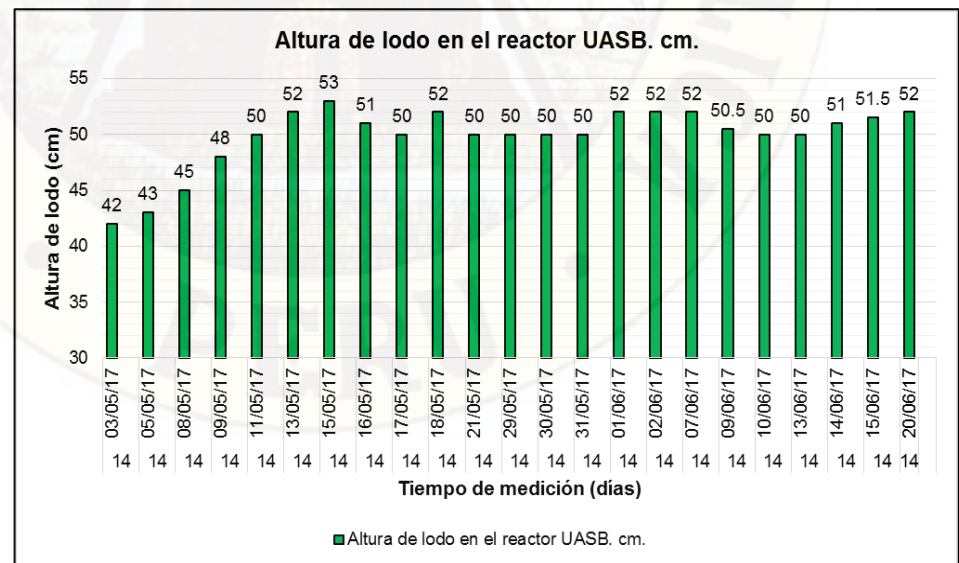


Gráfico 14.- Altura de lodo UASB (cm) vs Tiempo acumulado (días)

- Se evaluó para un TRH 12 horas. Se observa que la más baja altura es 50cm en las fechas (04/07, 06/07, 07/07, 10/07, 11/07, 13/07) y la máxima altura es 51cm de fecha (26/06, 27/06, 29/06, 30/06)

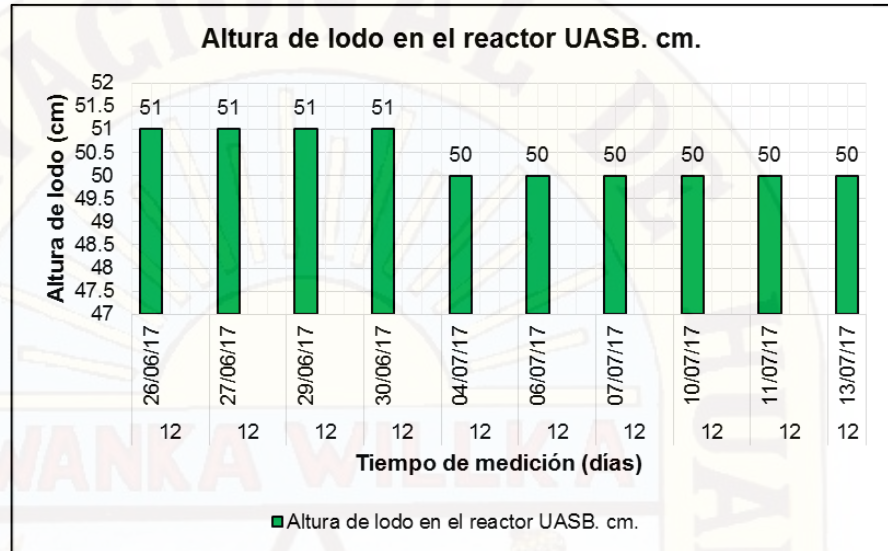


Gráfico 15.- Altura de lodo UASB (cm) vs Tiempo acumulado (días)

- Se retomó la evaluación para un TRH de 14 horas. Debido a que la eficiencia de remoción de DQO resultaba bajo con un TRH de 12 horas. Se observa que la más baja altura es 45 cm de fecha (27/07/17) y la máxima altura es 76 cm en la fecha (13/08/17).

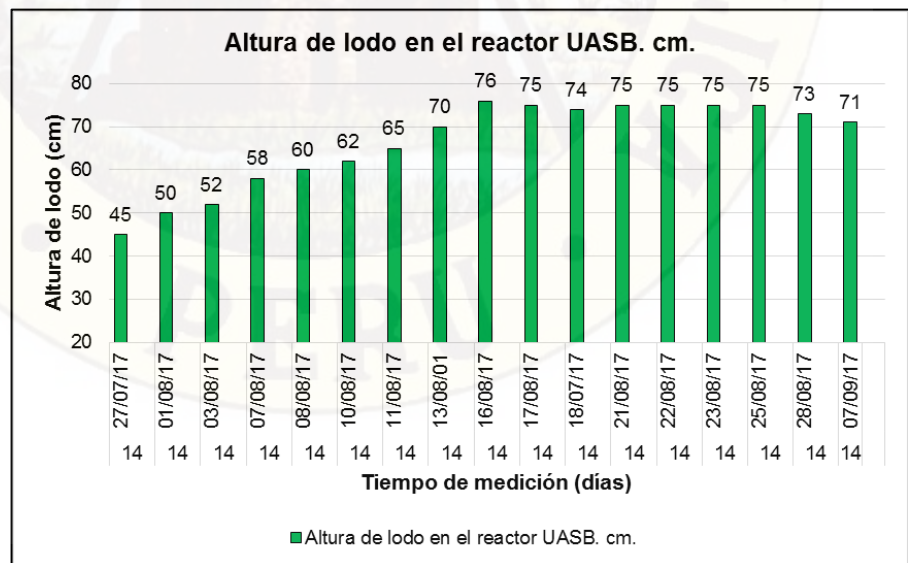


Gráfico 16.- Altura de lodo UASB (cm) vs Tiempo acumulado (días)

4.1.3. Eficiencias de Remoción Obtenidas

Las eficiencias de los parámetros son calculadas en base a los resultados, en los puntos A (ingreso de agua residual al reactor UASB) y B (salida de agua residual del reactor UASB). Se monitoreó parámetros rutinarios de mediciones de DQO. Se evaluó para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas y 12 horas se incrementó el número de parámetros de medición, sólidos totales y aceites y grasas.

Tabla 26.- Eficiencia de remoción de DQO para un TRH de 14 horas

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO EN EL REACTOR UASB					
días	TRH (horas)	Caudal (L/día) Ingreso a reactor UASB	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB) mg/L	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB) mg/L	Eficiencia de remoción DQO (%)
21/05/17	14	50	780	527	32.44%
29/05/17	14	50	963	464	51.82%
30/05/17	14	50	715	451	36.92%
31/05/17	14	50	777	454	41.57%
01/06/17	14	50	588	368	37.41%
02/06/17	14	50	1047	586	44.03%
07/06/17	14	50	704	467	33.66%
09/06/17	14	50	247	63	74.49%
10/06/17	14	50	407	94	76.90%
13/06/17	14	50	313	120	61.66%
14/06/17	14	50	573	235	58.99%
15/06/17	14	50	964	343	64.42%
20/06/17	14	50	996	460	53.82%
13/08/17	14	50	949	589	37.93%
16/08/17	14	50	1120	637	43.13%
17/08/17	14	50	1063	615	42.14%
18/08/17	14	50	914	551	39.72%
21/08/17	14	50	1067	678	36.46%
22/08/17	14	50	776	402	48.20%
23/08/17	14	50	812	441	45.69%
25/08/17	14	50	827	449	45.71%
28/08/17	14	50	904	394	56.43%
07/09/17	14	50	1044	416	60.15%
PROMEDIO					48.86%
MÁXIMO					76.90%
MÍNIMO					32.44%

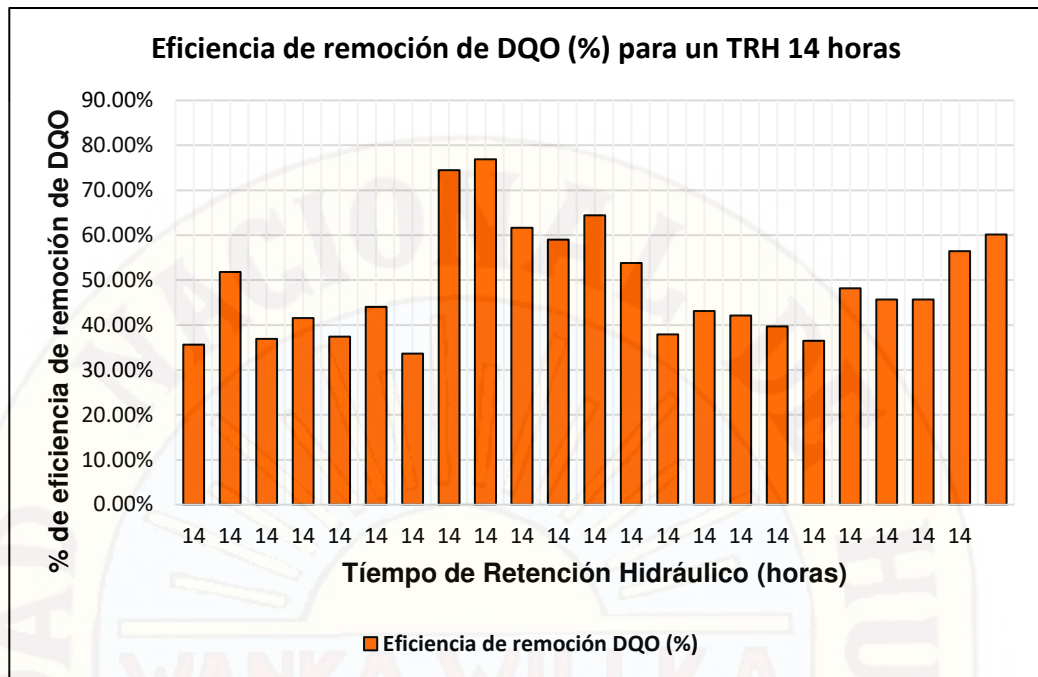


Gráfico 17.- Eficiencias obtenidas para TRH de 14 horas

La eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas, se obtuvo una mínima de 33,66%, máxima de 76,90% y el promedio fue 48,86%.

Tabla 27.- Eficiencia de remoción de DQO para un TRH de 12 horas

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO EN EL REACTOR UASB					
días	TRH (horas)	Caudal (L/día) Ingreso a reactor UASB	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB) mg/L	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB) mg/L	Eficiencia de remoción DQO (%)
26/06/17	12	58	952	622	34.66%
27/06/17	12	58	1280	874	31.72%
29/06/17	12	58	904	595	34.18%
30/06/17	12	58	979	618	36.87%
04/07/17	12	58	949	585	38.36%
06/07/17	12	58	1057	643	39.17%
07/07/17	12	58	1083	646	40.35%
10/07/17	12	58	929	537	42.20%
11/07/17	12	58	988	576	41.70%
13/08/17	12	58	849	501	40.99%
PROMEDIO					38.02%
MÁXIMO					42.20%
MÍNIMO					31.72%

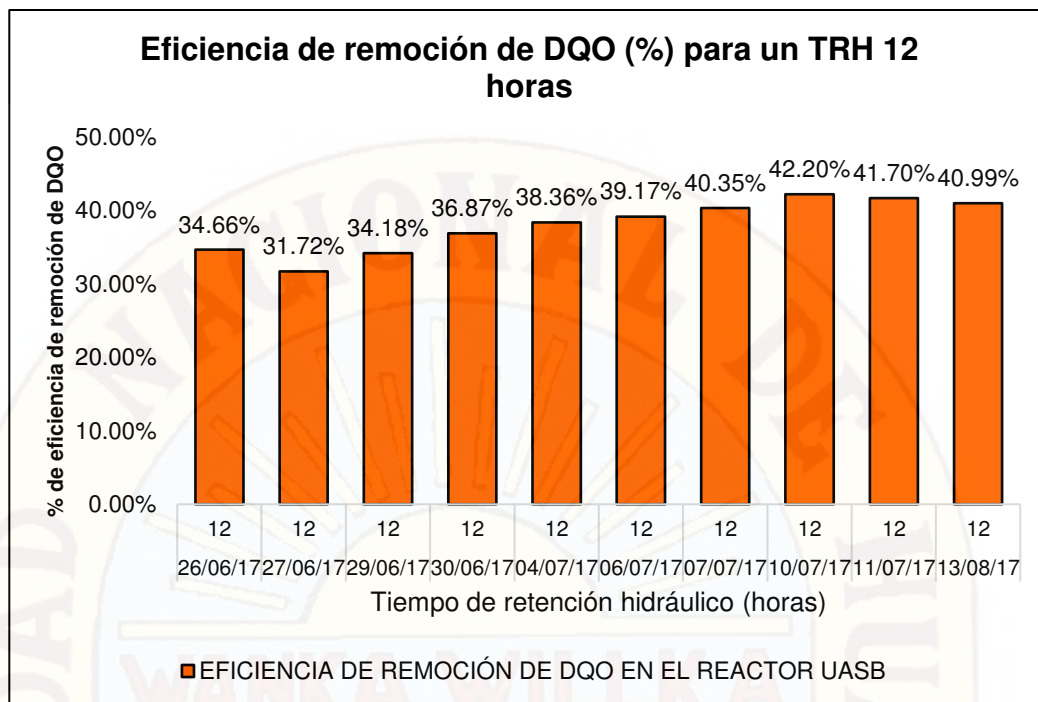


Gráfico 18.- Eficiencias obtenidas para TRH de 12 horas

La eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para un tiempo de retención hidráulico de 12 horas, se obtuvo una mínima de 31,72%, máxima de 42.20% y el promedio fue 38.02%.

4.2. Discusión

A continuación, se detallan el análisis y discusión de los resultados obtenidos en la investigación.

4.2.1. Discusión por parámetro obtenido

➤ Temperatura Ambiental y del agua residual

La temperatura es un parámetro de operación trascendental, pues está implicado en los balances energéticos, que en último término pueden posibilitar o impedir la utilización práctica de las técnicas anaeróbicas. Atendiendo al intervalo de temperatura, la operación de los reactores se clasifica en:

- Psicrófilo $-5 < T < 20^{\circ} \text{C}$
- Mesófilo $8 < T < 45^{\circ} \text{C}$
- Termófilo $40 < T < 70^{\circ} \text{C}$
- Hipertermófilo $65 < T < 110^{\circ} \text{C}$

La mayoría de las bacterias metanogénicas conocidas son mesófilas y tienen una temperatura óptima alrededor de 35°C . Las termófilas tienen un óptimo de operación a 55°C . Aunque la metanogénesis se produce a temperaturas próximas a 4°C , no se han descrito bacterias metanogénicas psicrófilas (Fernández Polanco y Seghezzi 2015).

La temperatura en el reactor UASB es influenciada por la temperatura del medio ambiente, sin embargo, la temperatura en el reactor no cambia tan bruscamente como ocurre en el ambiente.

Si se realiza una comparación de las temperaturas dentro del reactor UASB y de la temperatura del ambiente, se puede observar que la temperatura del reactor UASB se mantuvo en un rango de 10.4°C a 19.5°C , mientras que la temperatura del ambiente tuvo rangos de 9°C a 21°C , lo que demuestra que el reactor UASB es capaz de mantener un comportamiento de temperatura favorable, la temperatura del agua residual se encuentra en los rangos psicrófilo y mesófilo en la operación de reactores.

➤ pH.

El intervalo óptimo de pH para la digestión anaeróbica, está comprendido entre 6.8 y 7.5 aunque el proceso puede desarrollarse eficazmente en el intervalo 6.0-8.0, especialmente para reactores bien aclimatados (Fernández Polanco y Seghezzeo 2015).

Los microorganismos productores de metano tienen un crecimiento óptimo en el rango de pH entre 6.6 y 7.4; aunque se puede conseguir estabilidad en la formación de metano, en rango más amplio de pH entre 6.0 y 8.0. La operación de un reactor anaerobio, con el pH constantemente por debajo de 6.5 o por encima de 8.0 puede significar una disminución significativa de la tasa de producción de metano (De lemos Chernicharo 2013).

Los pH de los microorganismos en la digestión anaerobia para las hidrolíticas deben estar entre 7.2-7.4 y para las acidogénicas y metanogénicas en el rango de 6.5-7.5.

El agua residual que ingresa al reactor UASB (Punto A) tiene el pH 6.57 a 8.01 favorable para el desarrollo hidrolítico acidogénico y metanogénico, el efluente del reactor UASB (Punto B) tiene pH 6.99-8.32, por lo cual estos resultados de pH se encuentran óptimos para la digestión anaerobia.

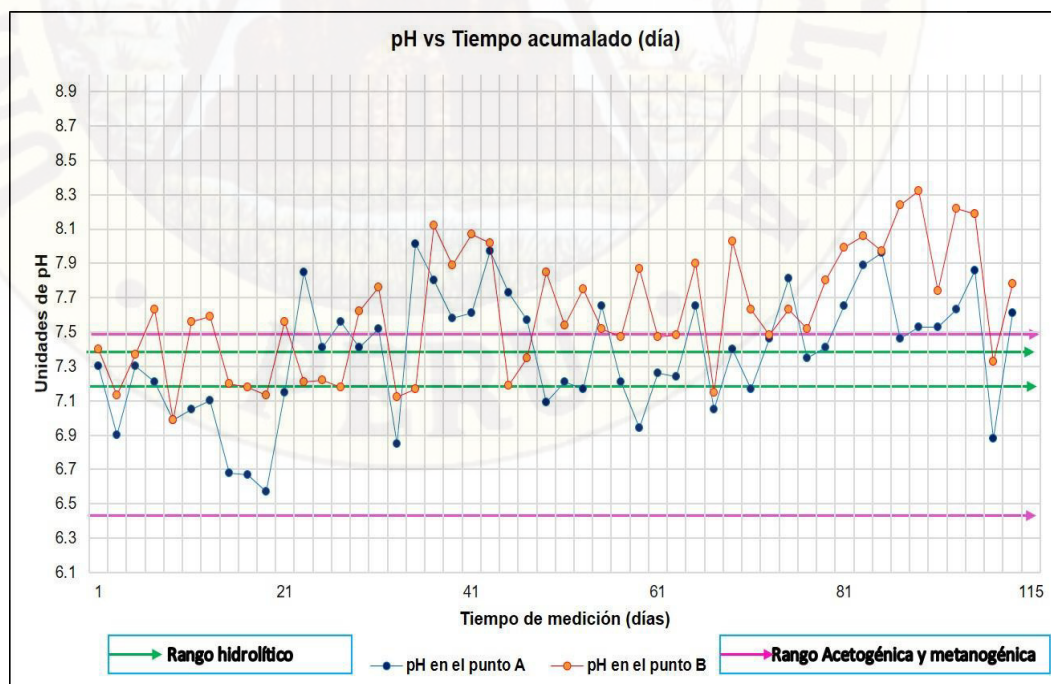


Gráfico 19.- Influencia del pH en el Punto A y B vs Tiempo acumulado (días)

➤ **Aceites y grasas**

En reactores UASB, la formación de nata puede ocurrir en dos lugares distintos: i) **al interior del separador trifásico**, en la interface de liberación de los gases formados durante la digestión anaerobia; y ii) **en la superficie del decantador**. Independiente del lugar donde la nata llegue a formarse o acumularse, la cantidad y sus características van a depender, esencialmente, de las características del agua residual, en términos de la presencia de sólidos en suspensión y de la cantidad de aceites y grasas (De lemos Chernicharo 2013).

En la investigación se obtuvo la concentración de aceites y grasas, en el punto A (ingreso de agua residual al reactor UASB) se obtuvo una mínima de 28.33mg/L y una máxima de 38.02mg/L. Para el punto B (salida de agua residual del reactor UASB) se obtuvo una mínima de 27.09mg/L y máxima de 28.66mg/L. En todo el proceso se observa la disminución de nata. Se encontraron bajas cantidades de nata debido a que en el tanque de almacenamiento de agua residual se implementó un flotador amarrado a una manguera, ello se instaló con la finalidad para evitar el ingreso de nata al reactor UASB.

A la salida del reactor UASB, se observó la presencia de natas de color crema, por lo cual se realizó la limpieza cada 02 semanas. Si no se realiza la limpieza de nata puede alterar el monitoreo de agua residual.

➤ **Sólidos suspendidos totales**

Dentro de ciertos límites, la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) de origen orgánico no afectará perjudicialmente la eficiencia del tratamiento, sino que simplemente contribuirá a una producción más alta de lodos que habrá que eliminar periódicamente del reactor (Fernández Polanco y Seghezzo 2015).

El contenido de sólidos en un agua residual afecta directamente la calidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. La eficiencia de remoción de SST en los dos reactores, tuvo un comportamiento variable, puesto que presentó una fluctuación bastante amplia con un máximo valor que supera el 40% y un mínimo de 2% en el reactor UASB para temperatura promedio de 17°C (Sierra Ramírez y Vivas Albarracín 2005).

En la investigación se observó bajas eficiencias, es debido a que no se realizó un monitoreo constante, la mínima remoción de sólidos suspendidos totales es de 1.56% para un TRH de 14 horas y el máximo fue de 30.38%.

Para estas eficiencias de remoción la cantidad de sólidos suspendidos totales encontrados fue en el punto A (ingreso de agua residual al reactor UASB) una mínima de 522.42mg/L, máxima de 901.01mg/L. Para el punto B (salida del reactor UASB) una mínima de 365.04mg/L, máxima de 895.05mg/L. Se observa que en todo el proceso que disminuye los sólidos suspendidos totales.

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Los resultados indican que con cuatro TRH de operación (14-12-10-8 horas) la remoción de DQO total sobre pasa el 49%, siendo el mejor resultado para un TRH de 14 horas con 60.7% de remoción promedio de DQO total, la más baja remoción resulto para un TRH de 4 horas con 25.3% de remoción promedio de DQO total, todo ello fue con un digestor de lodo (Quispe Livisi 2014).

La remoción de materia orgánica expresada como DQO se evaluó para tres TRH: 36, 24 y 12 h. Al evaluar el TRH de 36 h, por 28 días, se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO promedio de 88%. Posteriormente se disminuyó el TRH a 24 h, el porcentaje de DQO promedio fue de 87%. Finalmente se evaluó por 22 días el reactor para un TRH de 12 h y una CO de 17 kg/m³d, obteniéndose un porcentaje de remoción de DQO promedio de 79%, estos resultados se presentaron a una temperatura de 37°C (Caldera 2003).

Asimismo, de las pruebas realizadas en el estudio, se puede afirmar que para una temperatura del agua residual de 10 a 19°C en el reactor UASB. Al evaluar el TRH de 14 horas, por 92 días, se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO máxima de 76.90% y la mínima fue de 32.44%.

Posteriormente se disminuyó el TRH a 12 horas, por 23 días, el porcentaje de DQO máxima fue de 42.20% y la mínima fue de 31.72%.

Los resultados de la baja eficiencia de remoción de DQO es debido al efecto de las bajas temperaturas del ambiente, como también podría deberse a que el TRH con el que se opera es muy corto como para permitir un tiempo apropiado de contacto entre la materia orgánica y los microorganismos que la consumen.

También se debe prolongar el periodo de arranque del reactor UASB, ya que en la presente investigación se tuvo un periodo de arranque de 30 días.

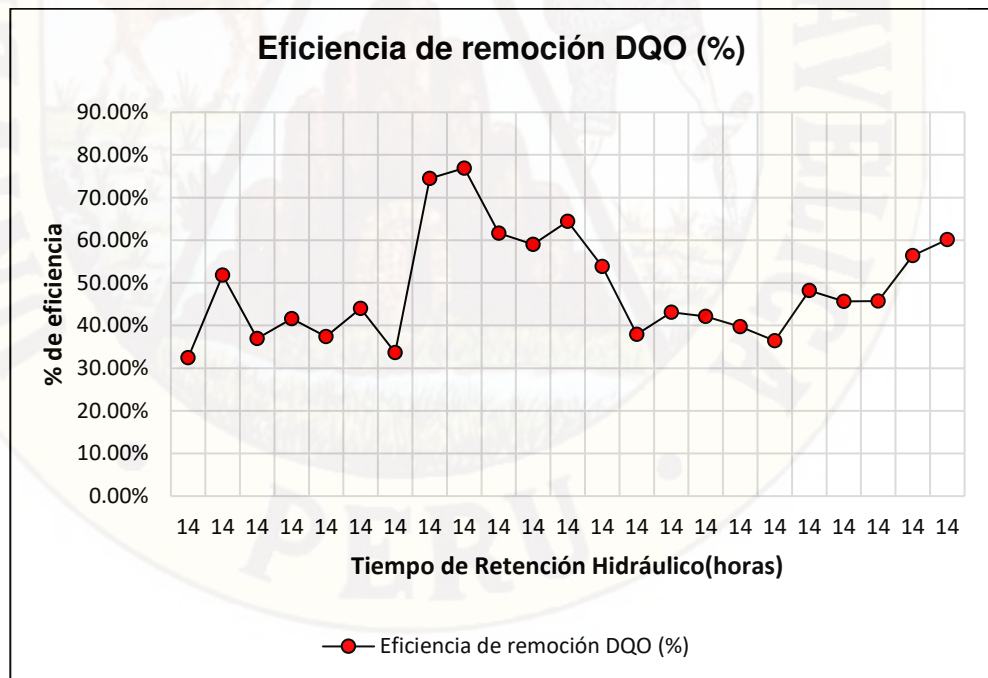


Gráfico 20.- Eficiencia de remoción de DQO en el reactor UASB para un TRH de 14 horas

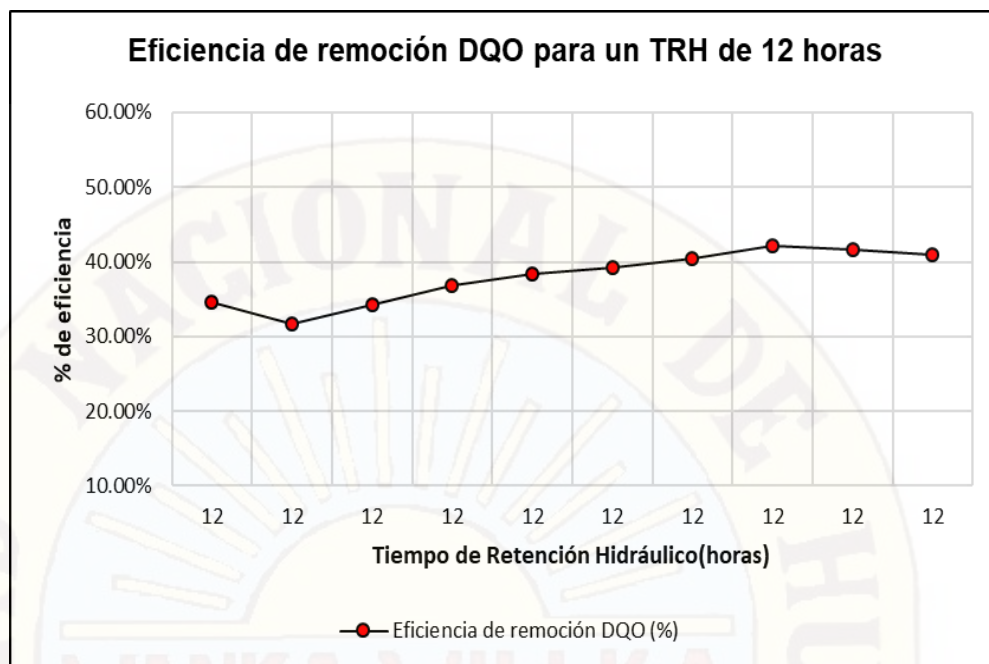


Gráfico 21.- Eficiencia de remoción de DQO en el reactor UASB para un TRH de 14 horas

Tabla 28.- % de eficiencia de remoción de DQO respecto al TRH

	% de remoción de DQO	
	TRH de 12 horas	TRH de 14 horas
MÍNIMO	31.72	32.44
MAXIMO	42.20	76.90
PROMEDIO	38.02	48.86

De esta forma se observa el tendiente creciente de la eficiencia del reactor UASB en la medida que se aumenta el tiempo de retención hidráulico.

➤ **Altura de lodo**

La altura de lodo del UASB está condicionado por el crecimiento de la biomasa y por la velocidad ascensional aplicado ambos originan su crecimiento, el crecimiento por biomasa es lento, en los 04 meses de operación creció el lodo de 42 cm al inicio del arranque del reactor UASB a 76cm al finalizar la investigación con una velocidad ascensional de 0.12m/h y 0.14m/h, no se purgo del reactor UASB.

4.2.2. Contrastación de Hipótesis con los resultados

Para la contrastación de Hipótesis con los resultados, tal como lo explicamos en el Capítulo III, se utilizó el procedimiento **Estadístico de Prueba de Hipótesis**, con nivel de significancia de 0.05 (5%), el mismo que se ejecuta en cuatro pasos y finalmente se realiza una comprobación a través del procedimiento de intervalos de confianza, esta contrastación se efectuará para cada indicador de la variable dependiente, siendo la media muestral, la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

4.2.2.1. Contrastación de la eficiencia de remoción DQO para un TRH de 14 horas

Según el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis para investigar si el indicador DQO, cuya eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) será mayor a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, se usó la prueba de T de Student que se muestra a continuación:

Paso 1: Se determina la normalidad de los datos, para la prueba de T Student. Para lo cual se utilizó el programa SPSS.

Para la determinación de la normalidad de los datos de la eficiencia de remoción se plantea las siguientes hipótesis.

Ho: la variable eficiencia de remoción de DQO tiene una distribución normal

H1: la variable eficiencia de remoción de DQO es distinta a la distribución normal.

Entonces se tiene se plantea:

Si: $P(\text{sig}) > NS(\alpha)$, entonces se acepta la Ho

Si: $P(\text{sig}) < NS(\alpha)$, entonces se rechaza la Ho

Tabla 29.- Base de datos para la contrastación de hipótesis para un TRH de 14 horas

DATOS PARA SER PROCESADOS DE UN TRH DE 14 HORAS					
días	TRH (horas)	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB) mg/L	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB) mg/L	Eficiencia de remoción DQO (%)	% EXPRESADOS EN DECIMALES
21/05/17	14	780	527	32.44%	0.32
29/05/17	14	963	464	51.82%	0.52
30/05/17	14	715	451	36.92%	0.37
31/05/17	14	777	454	41.57%	0.42
01/06/17	14	588	368	37.41%	0.37
02/06/17	14	1047	586	44.03%	0.44
07/06/17	14	704	467	33.66%	0.34
09/06/17	14	247	63	74.49%	0.74
10/06/17	14	407	94	76.90%	0.77
13/06/17	14	313	120	61.66%	0.62
14/06/17	14	573	235	58.99%	0.59
15/06/17	14	964	343	64.42%	0.64
20/06/17	14	996	460	53.82%	0.54
13/08/17	14	949	589	37.93%	0.38
16/08/17	14	1120	637	43.13%	0.43
17/08/17	14	1063	615	42.14%	0.42
18/08/17	14	914	551	39.72%	0.40
21/08/17	14	1067	678	36.46%	0.36
22/08/17	14	776	402	48.20%	0.48
23/08/17	14	812	441	45.69%	0.46
25/08/17	14	827	449	45.71%	0.46
28/08/17	14	904	394	56.42%	0.56
07/09/17	14	1044	416	60.15%	0.60

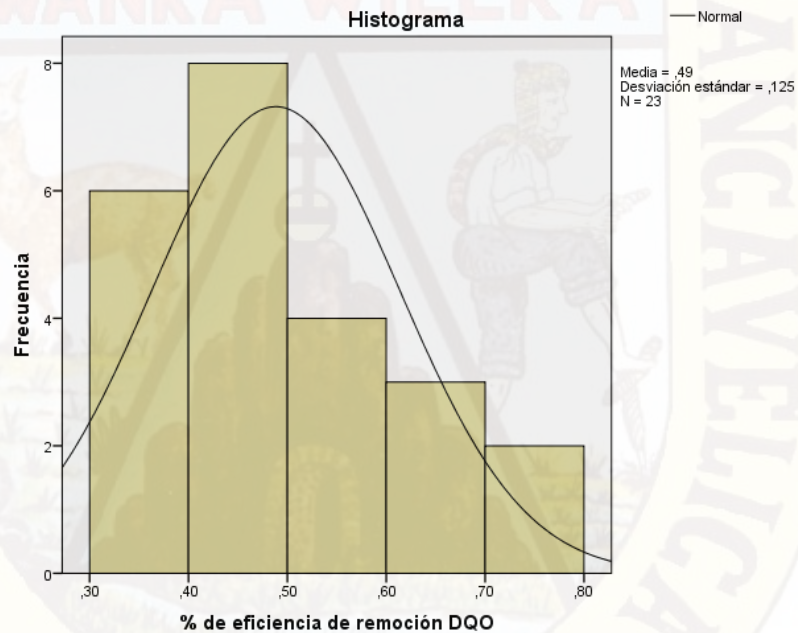
Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
% de eficiencia de remoción DQO	23	,32	,77	,4883	,12536
N válido (por lista)	23				

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% de eficiencia de remoción DQO	,154	23	,164	,930	23	,112

a. Corrección de significación de Lilliefors



Se tomó el valor de significación=0.112 de Shapiro-Wilk, por tener menor de 50 datos.

Como $P(\text{sig}) = 0.112 > NS(0.05)$; Entonces se acepta la hipótesis nula; que los datos de la eficiencia de remoción tienen normalidad.

Paso 2: La hipótesis nula es “La eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) será menor o igual a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, las dos hipótesis se expresan como sigue:

$H_0: \mu \leq 40\%$.

$H_1: \mu > 40\%$

Esta es una prueba de una cola debido a que la hipótesis alternativa establece una dirección, en otras palabras, establece si la media es mayor a 40%.

Paso 3: Aplicando un nivel de significancia de 0.05, esto es α ,

Paso 4: El estadístico de prueba fue T de Student debido a que se comparó los resultados de una preprueba con los resultados de una posprueba en un contexto experimental, además el número de muestras es ≤ 30 , cuya fórmula de cálculo es la siguiente:

$$T_{calculado} = \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

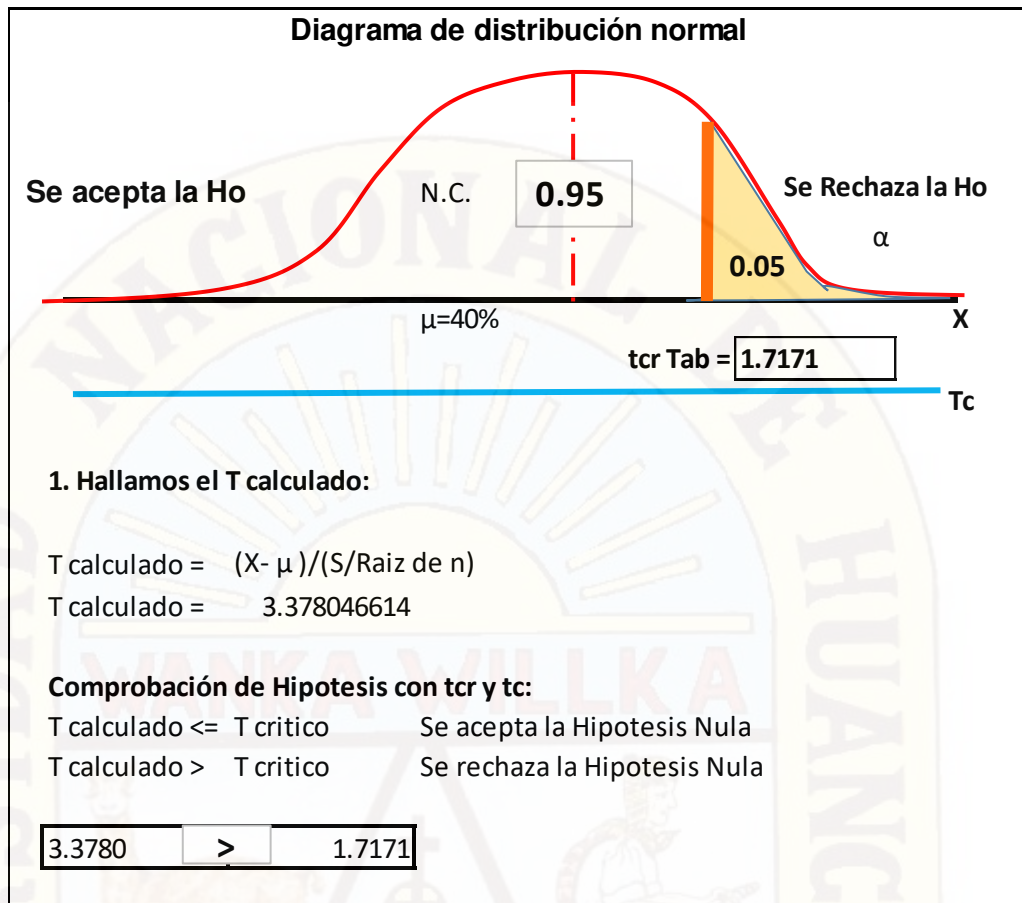
Dónde: X: es la media muestral

μ : la media poblacional

S: desviación estándar de la población

n: número de muestras

EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARA TRH 14 HORAS		
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	VALOR
Muestra	n =	23
Media	X =	0.4883
Desviación Estándar	S =	0.12536
Eficiencia > 40%	μ =	0.40
Nivel de Significancia	α =	0.05
Nivel de confianza	N.C. =	0.95
	n.c + α =	1
	α =	0.05
Grado Libertad	G.L. =	n-1
	G.L. =	22
t Critico	t _c Tabulado =	1.7171



Como se rechaza la H_0 , se acepta la H_1 .

Entonces: La eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) es mayor a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.

4.2.2.2. Contrastación de la eficiencia de remoción DQO para un TRH de 12 horas

Según el procedimiento estadístico de prueba de hipótesis para investigar si el indicador DQO, cuya eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) será mayor a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, se usó la prueba de T de Student que se muestra a continuación:

Paso 1: Se determina la normalidad de los datos, para la prueba de T Student. Para lo cual se utilizó el programa SPSS.

Para la determinación de la normalidad de los datos de la eficiencia de remoción se plantea las siguientes hipótesis.

Ho: la variable eficiencia de remoción de DQO tiene una distribución normal

H1: la variable eficiencia de remoción de DQO es distinta a la distribución normal.

Entonces se tiene se plantea:

Si: $P(\text{sig}) > NS(\alpha)$, entonces se acepta la Ho

Si: $P(\text{sig}) < NS(\alpha)$, entonces se rechaza la Ho

Tabla 30.- Base de datos para la contrastación de hipótesis para un TRH de 12 horas

DATOS PARA SER PROCESADOS DE UN TRH DE 12 HORAS					
días	TRH (horas)	PUNTO A (ENTRADA AL REACTOR UASB) mg/L	PUNTO B (SALIDA DEL REACTOR UASB) mg/L	Eficiencia de remoción DQO (%)	% EXPRESADOS EN DECIMALES
26/06/17	12	952	622	34.66%	0.35
27/06/17	12	1280	874	31.72%	0.32
29/06/17	12	904	595	34.18%	0.34
30/06/17	12	979	618	36.87%	0.37
04/07/17	12	949	585	38.36%	0.38
06/07/17	12	1057	643	39.17%	0.39
07/07/17	12	1083	646	40.35%	0.40
10/07/17	12	929	537	42.20%	0.42
11/07/17	12	988	576	41.70%	0.42
13/08/17	12	849	501	40.99%	0.41

Estadísticos descriptivos

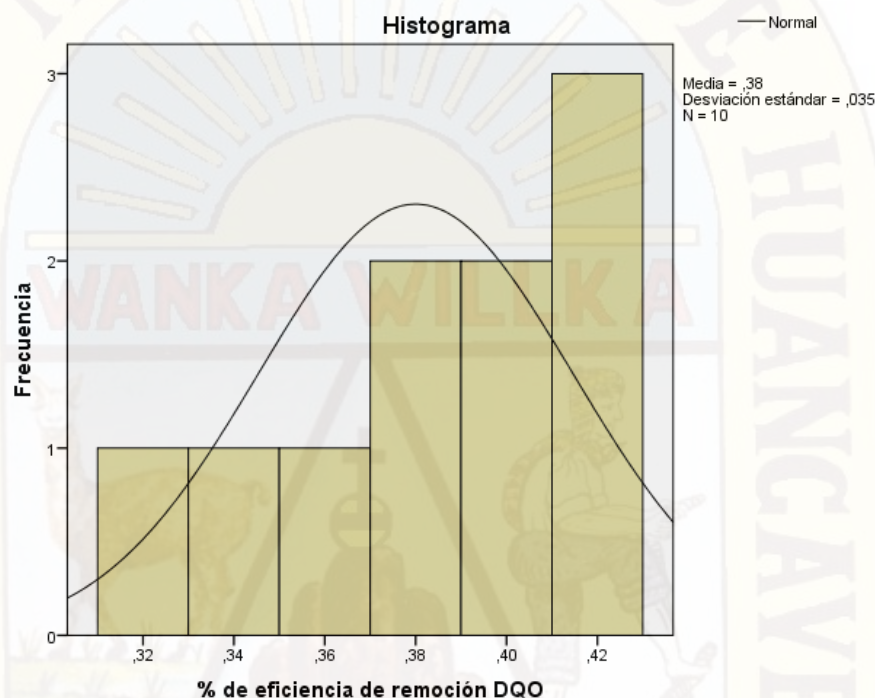
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
% de eficiencia de remoción DQO	10	,32	,42	,3800	,03464
N válido (por lista)	10				

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% de eficiencia de remoción DQO	,124	10	,200*	,938	10	,528

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors



Se tomó el valor de significación=0.528 de **Shapiro-Wilk**, por tener menor de 50 datos.

Como $P(\text{sig}) = 0.528 > NS(0.05)$; Entonces se acepta la hipótesis nula; que los datos de la eficiencia de remoción tienen normalidad.

Paso 2: La hipótesis nula es “La eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) será menor o igual a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica”, las dos hipótesis se expresan como sigue:

$$H_0: \mu \leq 40\%$$

$$H_1: \mu > 40\%$$

Esta es una prueba de una cola debido a que la hipótesis alternativa establece una dirección, en otras palabras, establece si la media es mayor a 40%.

Paso 3: Aplicando un nivel de significancia de 0.05, esto es α ,

Paso 4: El estadístico de prueba fue T de Student debido a que se comparó los resultados de una preprueba con los resultados de una posprueba en un contexto experimental, además el número de muestras es ≤ 30 , cuya fórmula de cálculo es la

$$T_{calculado} = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

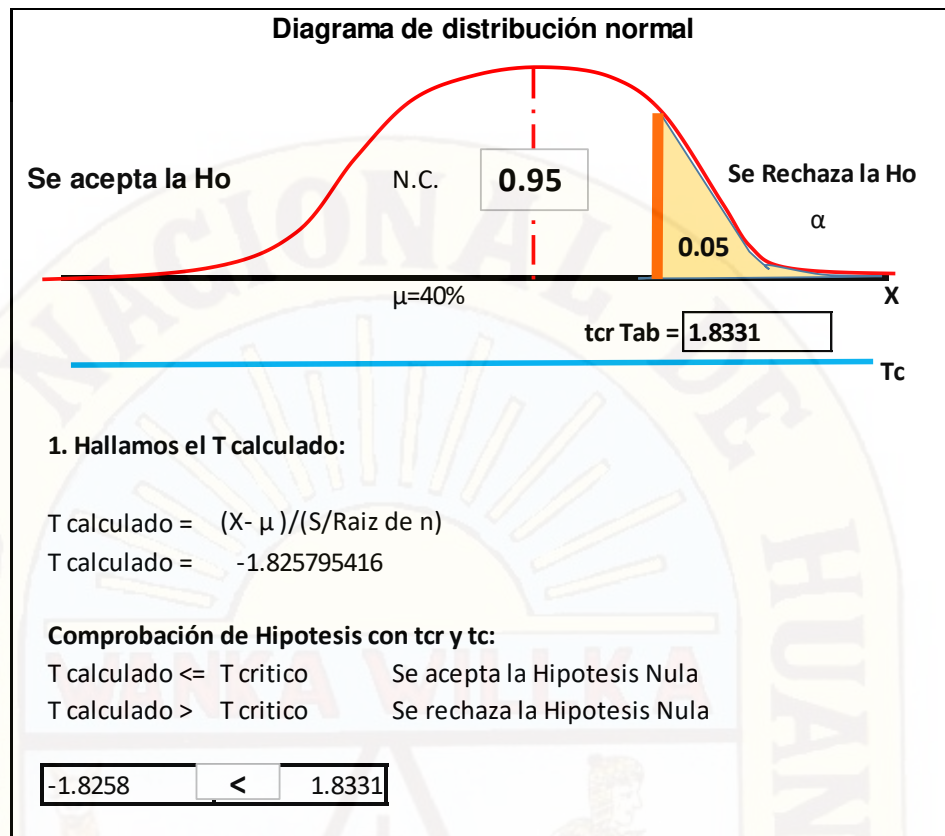
Dónde: X: es la media muestral

μ : la media poblacional

S: desviación estándar de la población

n: número de muestras

EFICIENCIA DE REMOCIÓN PARA TRH 12 HORAS		
DESCRIPCION	SIMBOLOGIA	VALOR
Muestra	n =	10
Media	X =	0.38
Desviación Estándar	S =	0.03464
Eficiencia > 40%	μ =	0.4
Nivel de Significancia	α =	0.05
Nivel de confianza	N.C. =	0.95
	n.c + α =	1
	α =	0.05
Grado Libertad	G.L. =	n-1
	G.L. =	9
t Critico	tc Tabulado =	1.8331



Como $T_{calculado}$ es menor que $T_{tabulado}$ se acepta la H_0 .

Entonces: La eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) es menor o igual a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, para un tiempo de retención hidráulico de 12 horas.

CONCLUSIONES

- En la investigación se obtuvieron óptimas remociones de materia orgánica lo cual es medida como DQO, para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 76.90% de DQO y un promedio de 48.86% de DQO. Para un tiempo de retención hidráulico de 12 horas se obtuvo una eficiencia de remoción máxima de 42.20% de DQO y un promedio de 38.02% de DQO. Lo cual se concluye que el reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) como tratamiento primario remueve la materia orgánica del agua residual del Camal Municipal de Huancavelica.
- La máxima eficiencia de remoción de materia orgánica se obtuvo para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas lo cual fue una remoción máxima de 76.90% de DQO, se concluye que el tendiente creciente de la eficiencia de remoción de DQO en el reactor UASB es en la medida que se aumenta el tiempo de retención hidráulico. El arranque y ajuste de operación del reactor UASB duró 30 días, se operó 92 días con TRH (tiempo de retención hidráulico) de 14 horas, 23 días con TRH de 12 para el reactor UASB. En total la investigación duro 115 días.
- Se evaluó la concentración de sólidos suspendidos totales para un TRH de 14 horas con un caudal de circulación de 35ml/min; tenemos en la entrada al reactor UASB una mínima de 522.42mg/L y una máxima de 901.01mg/L. A la salida del reactor mínima de 365.04mg/L y una máxima de 895.05mg/L. se concluye que el reactor UASB influye en la baja producción de lodo debido a la digestión anaerobia.
- Se determinó la concentración de aceites y grasas para un TRH de 14 horas con un caudal de circulación de 35ml/min; tenemos a la entrada del reactor UASB una mínima de 28.33mg/L y una máxima de 38.02mg/L. A la salida del reactor UASB una mínima de 27.09mg/L y una máxima de 28.66mg/L. Se concluye que esta cantidad de grasas se debe a los detergentes que utilizan en el camal municipal. Al no realizarse la limpieza de estas natas se tendría inadecuados resultados de los parámetros evaluados.

- El agua residual en el reactor UASB tuvo un pH dentro del rango de 6.57 y 8.33. Se concluye que el agua residual que ingresa al reactor UASB tiene el pH favorable para el desarrollo hidrolítico acidogénico y metanogénico, por lo cual estos resultados de pH se encuentran dentro de los rangos de 6.5 a 8 óptimos para la digestión anaerobia.
- El reactor UASB fue capaz de mantener una temperatura promedio 14.89 °C siempre por encima de la temperatura ambiental que tuvo una temperatura promedio de 14.79°C. Para una temperatura del agua residual de 10 a 19°C y manteniendo un tiempo de retención hidráulico de 14 horas en el reactor UASB, se han logrado valores máximos de remoción de 76.90% en DQO.
- El crecimiento de biomasa (DQO lodo acumulado) del reactor UASB es lento, debido a que el aumento de altura en manto de lodo para el reactor UASB es a consecuencia de la velocidad ascensional, variando los TRH. Por tanto, existe solo 34cm de crecimiento de lodo durante 115 días de operación, el mínimo de fue de 42cm y el máximo 76cm.
- Los resultados obtenidos en la presenta investigación es de gran importancia ya que el objetivo es buscar una tecnología ofreciendo una mayor eficiencia en remoción de materia orgánica en aguas residuales de camales municipales, en lugares con condiciones de clima y altitud similares.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar un mezclador en el tanque de almacenamiento para obtener una constante carga orgánica (afluente homogéneo).
- Incrementar el periodo de arranque de estabilización del lodo en el reactor UASB, ello facilitara mejores eficiencias de remoción de materia orgánica.
- Realizar mediciones continuas de la altura del lodo en el reactor pues permitirá determinar la tasa de producción de lodo.
- Se recomienda colocar más de 20 canicas en la base del reactor UASB a escala piloto para obtener una mejor distribución de caudal.
- Las técnicas de recolección de biogás y su cuantificación es de importancia para el balance de masas de la DQO, por lo tanto, se recomienda la medición de biogás.
- La limpieza de la zona de salida del reactor UASB es de importancia para evitar acumulación de natas, en caso de reactores a escala piloto la limpieza se hace 2 veces a la semana.
- Estudiar sistemas sostenibles de remoción de la carga orgánica remanente y nutrientes a escala de laboratorio como pos tratamiento de los reactores UASB.
- Es recomendable darle continuidad a la investigación para profundizar la eficiencia de remoción de los parámetros estudiados del conjunto UASB.
- Tener en consideración la altura mínima del lodo de 0.40m en el reactor a escala de laboratorio durante el arranque de los reactores UASB. Podrían aceptarse menores valores, pero aquello incrementarán el periodo de arranque.
- Considerar el uso de un mezclador manual (que puede ser una varilla de fierro) que servirá para homogenizar el lodo en el reactor. En escala real los valores reales del caudal permitirán realizar esta mezcla, la misma que no se realiza de manera igual en un reactor a escala de laboratorio por el factor de escala.
- Realizar la limpieza periódica de las unidades tales como limpieza de las natas, cambio de mangueras y verificación de fugas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

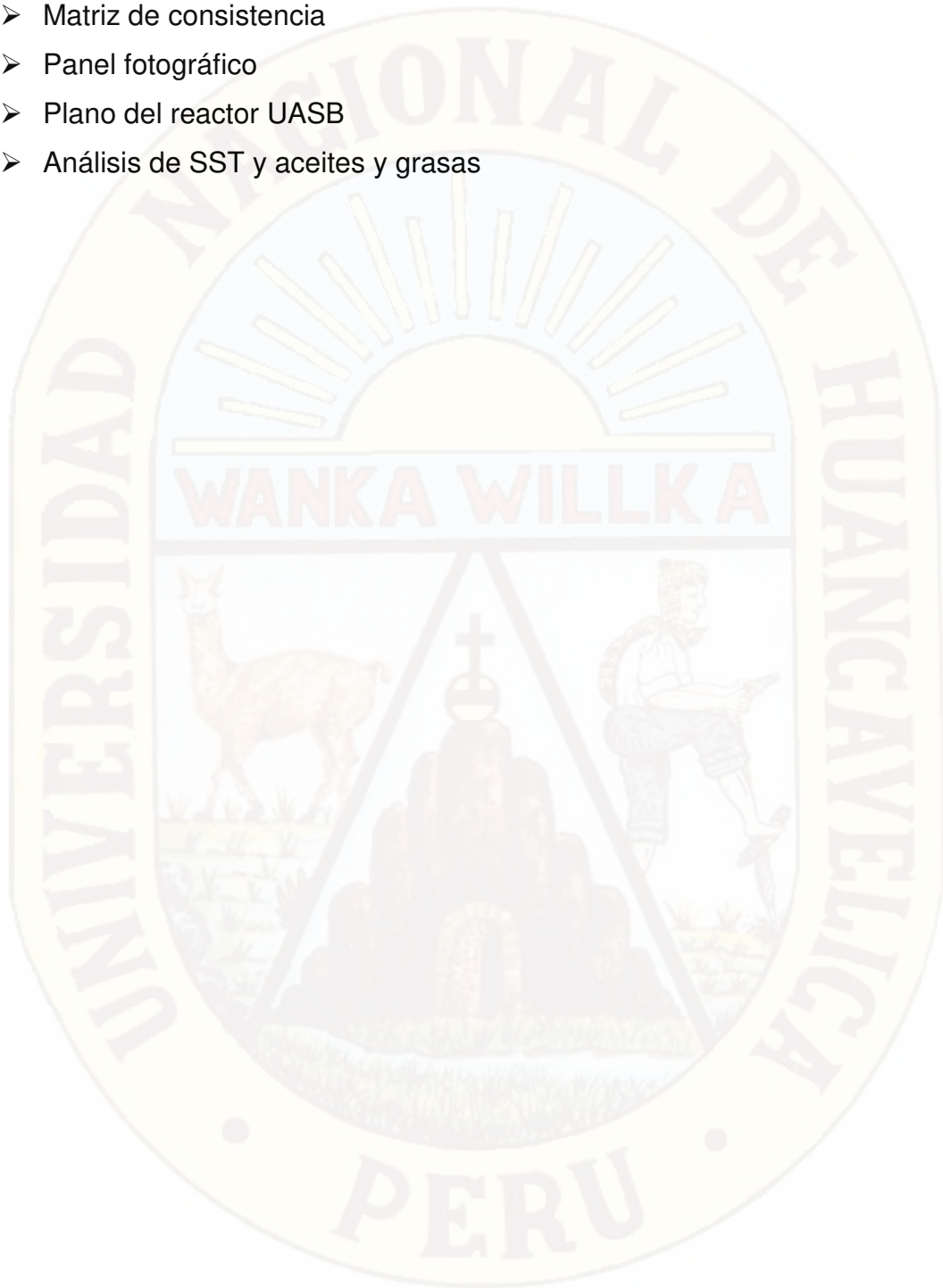
- ✓ Becerra Gutiérrez LK, Horna Acevedo MV, Barrionuevo Albuja KI. Nivel de contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región la libertad. 2014.
- ✓ Caicedo Messa FJ. Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados. [Sede Manzanales]: Universidad Nacional de Colombia; 2006.
- ✓ Caldera Y. The effect of hydraulic retention time in the functioning of the USAB reactor in slaughterhouse effluent treatment. Multiciencias. 2003;3(1):33–40.
- ✓ De la torre Caritas N. Digestión anaerobia en comunidades rurales. [Madrid - España]: Universidad Carlos III de Madrid; 2008.
- ✓ De lemos Chernicharo CA. Reactores anaerobios. Principios del tratamiento biológico de aguas residuales. Vol. 5. 2013.
- ✓ Fernández Polanco F, Seghezzi L. Diseño de reactores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Argentina; 2015.
- ✓ Gatze lettinga. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales y la digestión anaerobia. marzo de 2015;67.
- ✓ García Castillo CC. Evaluación de la capacidad de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de los rastors en reactor UASB. [Morelia]: Universidad Michoacana de san Nicolas de Hidalgo; 2012.
- ✓ Gonzales Castro A, Oseda Gago D, Ramírez Rosales F, Gave Chagua J. ¿Como aprender y enseñar investigación científica? Huancavelica-Perú; 2011.
- ✓ Gonzáles Contreras P. Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas mediante un reactor UASB en clima templado frio. [Chile]: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso; 2000.

- ✓ Guillermo Chaux, Gloria Rojas, Lina Bolaños. Cleaner production and feasibility of biological treatment for slaughterhouses effluents in small towns case: municipality of tambo (colombia). Fac Cienc Agropecu. 5 de mayo de 2009.
- ✓ Hernadez Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio M del P. Metodología de la investigación. Quinta. México; 2010.
- ✓ López López A, De la barrera Fraire J, Vallejo Rodríguez R, Barahona Argueta C. Estudio comparativo entre un proceso fisicoquímico y uno biológico para tratar agua residual de rastro. INERCIENCIA. julio de 2007; 33:6.
- ✓ Maldonado JI, Ramón JA. Treatment System for industrial wastewater of the slaughterhouses. Rev Ambient Agua Aire Suelo. 2006;14.
- ✓ Manjunath. Treatment of Wastewater from Slaughterhouse by DAF-UASB System. 2000.
- ✓ Márquez Vázquez M, Martínez Gonzáles S. Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFAS o UASB). México; 2011.
- ✓ Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento vertido y reutilización. Tercera. Vol. 1. España; 1995.
- ✓ MINAM. Tratamiento y reuso de aguas residuales. En: Manual para municipios ecoeficientes. Lima; 2009. p. 57.
- ✓ Quispe Livisi JA. Estudio de la remoción de carga orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente con digestor de lodos aplicado a una localidad ubicado a una altitud de 3800 msnm. Univ Nac Ing [Internet]. 2014a [citado 19 de noviembre de 2017]; Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1357>
- ✓ Reyes Pantoja MD. Tratamiento de aguas residuales provenientes de rastro mediante un sistema de biodegradación anaerobia - aerobia. [méxico]: Universidad Nacioanal Autónoma de México; 2009.

- ✓ Rodríguez Alexandra J. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Cali-Colombia; p. 15.
- ✓ Rodríguez Fernández A, Letón García P, Rosal García R, Dorado Valiño M, Susana Villar F, Sanz García J. Tratamiento avanzados de agua residuales industriales. Madrid - España; 2009 p. 137. Report No.: 2.
- ✓ S. sayed, H. van der Spoel. A Complete treatment of slaughterhouse wastewater combined with sludge stabilization using two stage high rate UASB process. Mayo de 1993. :83-90.
- ✓ Sierra Ramírez DC, Vivas Albarracín C. Diseño e implementación de una unidad piloto de tratamiento biológico no convencional para los vertimientos generados en el matadero de macanal (Corpochivor). [Bogota - Colombia]: Universidad de la Salle; 2005.
- ✓ Solera del Río R, Castrillón Pelaez L. Proceso de la biotransformación de la materia orgánica. 2014;
- ✓ Sosa Villalobos CA. Aplicación de un tratamiento biológico a las aguas residuales provenientes de una destilería de alcohol de caña, utilizando un reactor UASB. [Madrid]: Universidad Politécnica de Madrid; 2013.
- ✓ Tamayo Tamayo M. El proceso de la investigación científica. Cuarta. Limusa; 2000.
- ✓ Yaxcelys Caldera, Pedro Madueño, Alonso Griborio, Nola Fernandez, Edixon Gutierrez. Effect of the organic load in the performance the UASB reactor treating slaughterhouse effluent. Rev Téc Fac Ing Univ Zulia. agosto de 2005;12.
- ✓ Tratamiento mediante reactores anaerobio. 2002.

ANÉXOS

- Matriz de consistencia
- Panel fotográfico
- Plano del reactor UASB
- Análisis de SST y aceites y grasas



MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN UN REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE (UASB) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAMELICA.

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INVESTIGACIÓN
Problema General ¿Cuánto será la eficiencia de remoción de materia orgánica en un Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica?	Objetivo General Evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica en un Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del camal Municipal de Huancavelica. Objetivos específicos: ✚ Determinar el tiempo de retención hidráulico del reactor UASB. ✚ Determinar la eficiencia en remoción de DQO ✚ Determinar la concentración en remoción de SST. ✚ Determinar la concentración de aceites y grasas. ✚ Evaluar los parámetros: pH y Temperatura.	ANTECEDENTES ✚ García Castillo Carmen Cecilia. Evaluación de la capacidad de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de los rastros en un reactor UASB. [MEXICO]: UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO; 2012. ✚ Reyes Pantoja Marlé Dolores. Tratamiento de Agua Residuales provenientes de Rastro Mediante un Sistema de Biodegradación Anaerobia-Aerobia. [MÉXICO]: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO; 2009. ✚ Caldera Yaxcelys, et al. Efecto de la Carga Orgánica en el funcionamiento de un reactor UASB durante el tratamiento de efluente cárnico. Agosto 2005. :12. ✚ Caldera Yaxcelys, et al. Efecto del Tiempo de Retención Hidráulico en el funcionamiento de un reactor UASB tratando efluentes cárnicos. 1 junio 2003. 3:13. BASES TEÓRICAS • Tratamiento de aguas residuales • Tratamiento anaerobio de aguas residuales • Factores que influyen en el proceso de Anaerobio. • Reactor Anaerobio de flujo Ascendente (UASB) • Factores que influyen en el reactor (UASB). • Remoción de Carga Orgánica (medida como DQO)	General: La eficiencia de remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) será mayor a 40% para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.	Independiente: Sistema de tratamiento "reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB)". Indicadores: ✓ Caudal (Lit/día) ✓ Tiempo de retención hidráulico (horas) Dependiente: Remoción de Materia Orgánica (medida como DQO). Indicadores: ✓ Demanda Química de oxígeno (mg/L)	TIPO: aplicada NIVEL: explicativo DISEÑO: pre-experimental Población: Efluente del beneficio de animales del camal municipal de Huancavelica. Es de 19500 L/día. Muestra: Las muestras se analizarán en las aguas residuales de la entrada y salida del reactor UASB.

PANEL FOTOGRÁFICO

PANEL FOTOGRÁFICO: INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DEL REACTOR UASB



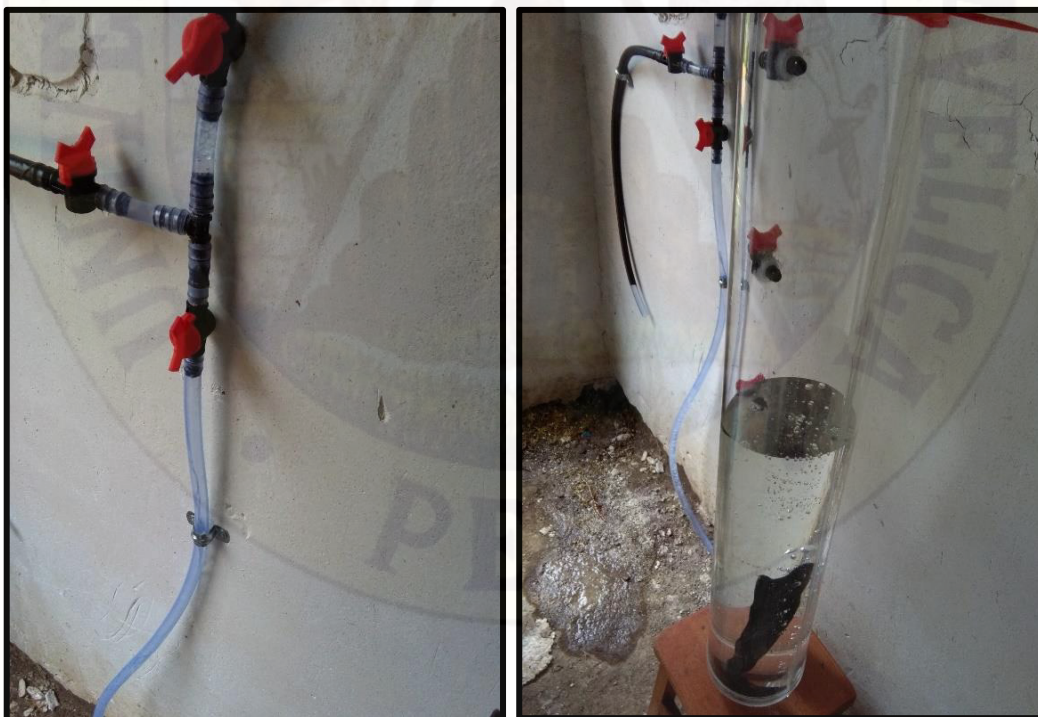
Fotografía 11.- Acondicionamiento del tanque de Almacenamiento y del regulador de caudal



Fotografía 12.- Instalación del tanque de almacenamiento y regulador de caudal



Fotografía 13.- Instalación del reactor UASB y las mangueras de ½"



Fotografía 14.- Realizando la prueba hidráulica en el reactor UASB y las mangueras de conexión para evitar las fugas respectivas.



Fotografía 15.- Instalación del sistema de Bombeo, para la impulsión del agua residual al tanque de almacenamiento



Fotografía 16.- Tanque de almacenamiento de agua residual de 350 litros.



Fotografía 17.- Inoculación de lodo al reactor UASB



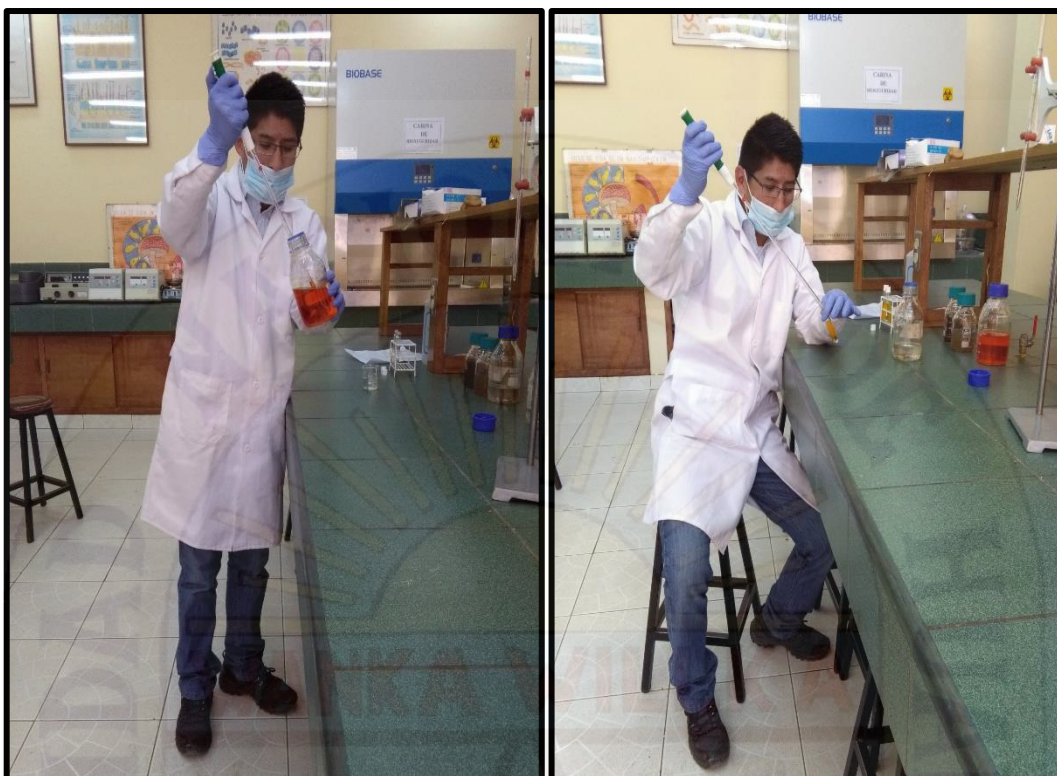
Fotografía 18.- Reactor Anaerobio de Manto de lodos de Flujo Ascendente, a escala laboratorio



Fotografía 19.- Ubicación del termometro Ambiental



Fotografía 20.- Toma demuestra en el Pto A (izquierda), muestra en el Pto B (derecha)



Fotografía 21.- Medición de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO)



Fotografía 22.- Medición de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO)



Fotografía 23.- Medición de los parametros de pH Y Temperatura del agua residual



Fotografía 24.- Gigantografía del proyecto de Investigación

PANEL FOTOGRÁFICO: RESULTADOS OBTENIDOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AGUA RESIDUAL

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
	Se observa la entrada y salida de agua residual de la primera semana de monitoreo. Para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.
	Se observa la entrada y salida de agua residual de la segunda semana de monitoreo. Para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.
	Se observa la entrada y salida de agua residual de la quinta semana de monitoreo. Para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.

	Se observa la entrada y salida de agua residual de la sexta semana de monitoreo. Para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.
	Se observa la entrada y salida de agua residual de la novena semana de monitoreo. Para un tiempo de retención hidráulico de 12 horas. Fue la semana donde se obtuvo menor eficiencia de remoción de materia orgánica.
	Se observa la entrada y salida de agua residual de la treceava semana de monitoreo. Para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.

PANEL FOTOGRÁFICO: RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE LODO.

LODO EN EL REACTOR UASB	DESCRIPCIÓN
	Se observa el lodo inoculado sedimentado en la parte inferior del reactor UASB.
	Se coloca una cinta métrica para lectura de lodo, además se nota presencia de sólidos acumulados en la última capa de lodo, la altura de lodo empieza a estabilizarse en 58cm

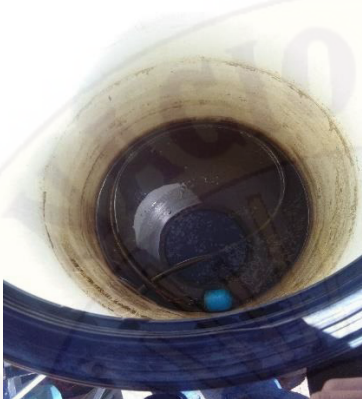


Se coloca una cinta métrica para lectura de lodo, la altura de lodo es de 70 cm para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.

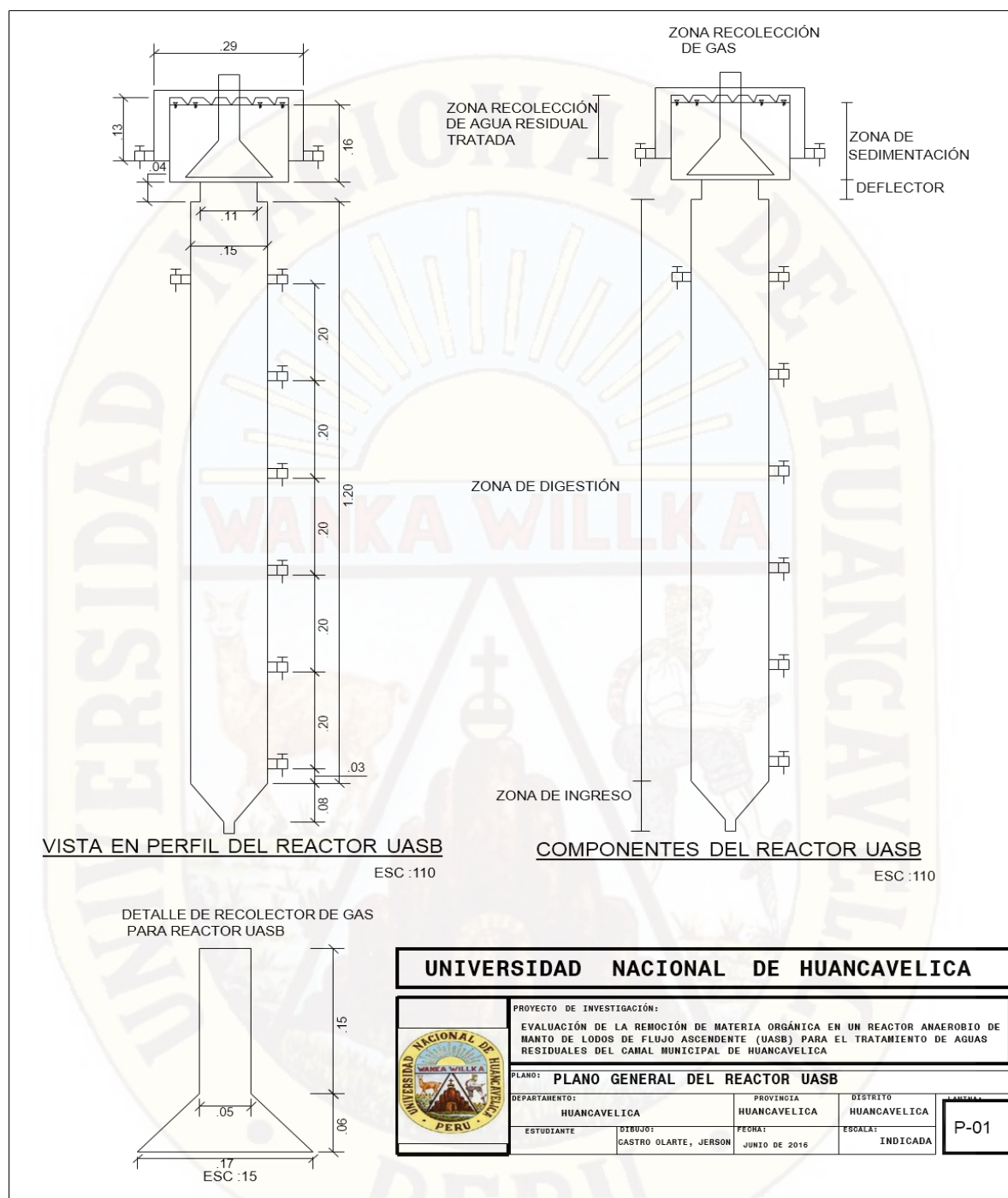


Se coloca una cinta métrica para lectura de lodo, la altura de lodo es de 75 cm para un tiempo de retención hidráulico de 14 horas.

PANEL FOTOGRÁFICO: MANTENIMIENTO DEL REACTOR UASB Y OTROS.

PARTES DEL SISTEMA	DESCRIPCIÓN
	El tanque de almacenamiento de 350 litros, se realizó el mantenimiento cada 04 semanas. Como se puede observar los sedimentos en la parte inferior.
	En la salida del reactor UASB, se observa la presencia de nata de color crema. Se realiza la limpieza de la nata cada 02 semanas.
	En la zona de recolección de agua residual se observa la formación de nata de color crema.
	En la zona de recolección de agua residual se observa la formación de nata de color crema.

PLANO DEL REACTOR UASB.



Plano 1.- Diseño del reactor UASB

REPORTE DE ANALISIS

Análisis Solicitado por : UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

Tipo de muestra : Muestras de Aguas (Medio Ambiente)

Fecha de recepción : 16/08/2017

Fecha de inicio : 17/08/2017

Fecha de finalización : 20/08/2017

Tipo de ensayo : Instrumentación.

ID. MUESTRAS LABORATORIO	ID. MUESTRAS CLIENTE	PARAMETROS				
Parametros		PH	C.E.	STS	A. y G.	DQO
Unidad		-	uS/cm	mg/L	mg/L	mg/L
Límite de Cuantificación		0 - 14	20	30	0.5	0.5
MA-17/00101	1 ANTES DEL REACTOR	6.60	1171	897.03	29.50	502.25
MA-17/00102	2 ANTES DEL REACTOR	6.58	1855	889.07	28.52	504.33
MA-17/00103	3 ANTES DEL REACTOR	6.61	1135	901.01	28.33	504.56
MA-17/00104	1 DESPUES DEL REACTOR	7.33	1034	883.05	28.66	369.22
MA-17/00105	2 DESPUES DEL REACTOR	7.33	1034	867.33	27.51	368.09
MA-17/00106	3 DESPUES DEL REACTOR	7.30	10.32	895.02	27.09	364.12

PARAMETROS DE ACUERDO A NORMAS:

PARAMETROS	METODOS DE ENSAYO
PH	NTP 339.176 2002 (revisada el 2015)
C. E.	EPA 120.1 - DIN EN 27888
STS	M.E. de S.T.S en agua ME-31-2007
DQO	EPA 410.2.1999
ACEITES Y GRASAS	APHA-AWWA-WEF. 21 ED NY2005

Según el etiquetado de custodia de cada recipiente que llegó al laboratorio; la cantidad de sólidos totales suspendidos antes y después del reactor como menciona la diferencia es mínima por el cual se puede deducir que la muestra después del reactor sigue manteniendo los sólidos suspendidos, el cual para profundizar el origen del contenido de la muestra se sugiere analizar la cantidad de STD (sólidos totales disueltos).

La cantidad de aceites y grasas es variable entre todas las muestras antes y después del reactor, la cantidad de aceites y grasas son mínimas, el cual hace referencia a la existencia que pueda existir materia orgánica.

El DQO analizado en las muestras antes del reactor es mayor a los resultados después del reactor por lo que se puede interpretar, que antes del reactor posiblemente exista gran cantidad de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la muestra después del reactor presenta resultados mejores, que tal vez fue procesado en el reactor por lo que muestra menor resultado después del reactor.

OBSERVACIONES:

La interpretación, comentarios y/o sugerencias que se menciona fueron solicitados por la persona quien solicito mencionados análisis en el laboratorio.

La mención de antes del reactor y después del reactor fue del mismo etiquetado de custodia de los envases en que llego al laboratorio.

Se sugiere realizar los análisis los parámetros de acuerdo al tipo de reactor que hacen uso y al tipo de uso de agua.

Huancayo 21 de agosto de 2017



Esmila Y. Chavarría Márquez
INGENIERA AMBIENTAL
REG CIP N° 181752

Responsable de Laboratorio M.A.
RCJ LABS UNIVERSAL