

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



IMPLEMENTACIÓN DE UN REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO
ASCENDENTE, UASB, A ESCALA PILOTO PARA EVALUAR
PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES “LA TOTORA” - AYACUCHO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR : Bach. Tony Jhon TALAVERA GASGA

Asesor : Ing. Bernardo ENCISO LOPEZ

AYACUCHO - PERU

2018

DEDICATORIA

A mis padres: Juan Talavera Guerra y Olimpia Gasga Suarez, por su amor, por sus ejemplos de bien, y por el apoyo incondicional durante mi vida hasta el día de hoy para el logro de esta meta tan importante para mi vida. A mis hermanos: Henry, Saúl y Sheyla por permitirme compartir mis días con ellos y por todo el apoyo brindado.

AGRADECIMIENTO

Sobre todas las cosas a Dios por darme vida y salud y la oportunidad de alcanzar esta meta tan importante en el camino que elegí para mi vida.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por permitirme en sus aulas alcanzar mi mayor anhelo, que es mi formación como Ingeniero Químico.

A la entidad prestadora de servicios de saneamiento SEDA AYACUCHO, por facilitarme el acceso a la planta de tratamiento de aguas residuales y el uso de los laboratorios, en donde se desarrolló la investigación.

Mi agradecimiento especial a mi asesor, el Ingeniero Bernardo Enciso López y a mi co-asesor, el Ingeniero Cipriano Mendoza Rojas, por la propuesta de este tema y por el asesoramiento constante durante el desarrollo de la investigación.

A la Ingeniera Tarcila Alcarraz Alfaro, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por el apoyo incondicional en la determinación de demanda química de oxígeno en muestras de aguas residuales.

Al Biólogo Rudecindo Huincho Rodríguez, por sus orientaciones y apoyo en los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos durante la etapa de evaluación de la investigación.

A mi compañero Rolando Cosinga Eslava por su apoyo en los análisis fisicoquímico, y a la Bióloga Linzbet Domínguez A., por el apoyo en los análisis microbiológicos.

RESUMEN

La investigación está orientado al diseño, construcción, instalación y puesta en funcionamiento de un reactor UASB a escala piloto en la PTAR “La Totorá”, para determinar los parámetros de operación del proceso de tratamiento de aguas residuales provenientes de la sección de desarenado de la planta.

Las características del reactor UASB que se ha construido son las siguientes: tiene forma cilíndrica, la altura es de 1,80 metros, el diámetro es de 15,24 cm y un volumen aproximado de 33 litros, con una alimentación a través de tubería de 16 mm, cuenta con dos sistemas de descarga una para el agua depurada y otra para el biogás producido, en la parte lateral del reactor están dispuestos 9 válvulas para la toma de muestras. El reactor está anclado en un pedestal ubicado a 50 cm del nivel del suelo. Para garantizar el flujo de alimentación se instaló un tanque de polietileno de 600 litros ubicado a una altura de 2,50 metros con referencia a la base del reactor instalado.

Para el arranque del reactor, se ha inoculado con 10 litros de lodo, proveniente de la PTAR del centro de investigación de tratamiento de aguas residuales (CITRAR) de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), sobre un lecho de anillos raschig de ½ pulgada de diámetro, con la finalidad de incrementar el área de contacto y una distribución uniforme de la mezcla reaccionante a fin de acelerar la estabilización del proceso.

Durante el funcionamiento del reactor se determinó la temperatura, pH, turbiedad, sólidos totales (ST), sólidos volátiles totales (SVT), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), coliformes fecales (CF) o termotolerantes (CT), alcalinidad, acidez, conductividad entre otros a la entrada y salida del reactor. Mediante las válvulas laterales se ha visualizado la presencia del lodo a diferentes alturas del reactor. La producción del biogás se ha cuantificado por el desplazamiento del nivel del agua en una columna (Figura 4.18), siendo su producción máxima en razón de 3,5 litros de biogás/día, para un TRH de 9 horas a condiciones ambientales del lugar.

El monitoreo se realizó mediante muestreos en los puntos: P1, que corresponde al afluente del reactor; P10, que corresponde al efluente del reactor; y la captación en la cámara de distribución de la PTAR.

La mayor eficiencia alcanzada del reactor fue para un TRH de 9 horas, con un caudal de 61 ml/min, donde se ha logrado remover 71% de DBO₅, 62% de DQO, 49% de turbiedad, 74% de coliformes fecales. Estos resultados demuestran que empleando un reactor UASB se obtiene resultados satisfactorios, comparado con otras tecnologías de tratamiento primario de aguas residuales.

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xv
CAPÍTULO I: INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.4 HIPÓTESIS	13
1.5 JUSTIFICACIÓN	13
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 AGUAS RESIDUALES	15
2.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA	30
2.3 REACTORES ANAEROBIOS	41
2.4 FUNDAMENTOS DEL PROCESO UASB	42
2.5 REACTORES UASB	43

2.6	EL BIOGÁS	53
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO		57
3.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.2	LUGAR Y PERIODO DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.3	MUESTRA Y UNIVERSO	61
3.4	CRITERIOS DE DISEÑO DEL REACTOR UASB	63
3.5	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR UASB	64
3.6	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN	74
3.7	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN	75
3.8	INSTALACIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO	76
3.9	INSTALACIÓN DEL REACTOR UASB	76
3.10	PLAN DE MONITOREO	81
3.11	ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR UASB	86
3.12	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR UASB	88
3.13	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO	93
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION		118
4.1	CAUDAL Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO	118
4.2	COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA	120
4.3	COMPORTAMIENTO DE pH	122
4.4	COMPORTAMIENTO DE TURBIEDAD	123
4.5	COMPORTAMIENTO DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	124
4.6	COMPORTAMIENTO DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	127

4.7	COMPORTAMIENTO DE SÓLIDOS	129
4.8	COMPORTAMIENTO DE COLIFORMES FECALES	133
4.9	COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS	134
4.10	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	136
	CONCLUSIONES	138
	RECOMENDACIONES	140
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	141
	ANEXOS	144

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 2.1	Características del agua residual	18
Tabla 2.2	Características de los principales niveles de tratamiento	21
Tabla 2.3	Beneficios y limitaciones del tratamiento anaerobio	30
Tabla 2.4	Composición química de biogás	42
Tabla 2.5	Propiedades físicas del biogás	43
Tabla 3.1	Parámetros de diseño del reactor UASB	50
Tabla 3.2	Determinación de temperatura	73
Tabla 3.3	Determinación de pH	74
Tabla 3.4	Determinación de turbiedad	75
Tabla 3.5	Determinación de color	76
Tabla 3.6	Determinación de conductividad, salinidad y STD	76
Tabla 3.7	Determinación de acidez	77
Tabla 3.8	Determinación de alcalinidad	78
Tabla 3.9	Factores para la determinación de alcalinidad	80
Tabla 3.10	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	80
Tabla 3.11	Determinación de demanda química de oxígeno	82
Tabla 3.12	Determinación de sólidos totales	84
Tabla 3.13	Determinación de coliformes termotolerantes	87
Tabla 3.14	NMP y límites de confianza para diversas combinaciones de resultados positivos obtenidos con cinco tubos	90
Tabla 4.1	Resultados experimentales promedio para tiempo de residencia de 9 horas	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 1.1	Planta el Vivero, Cali - Colombia, 45 l/s	5
Figura 1.2	Planta Río Frío, Bucaramanga - Colombia 370 l/s	6
Figura 1.3	Planta San Antonio, Sololá, Guatemala, 10.5 l/s	7
Figura 1.4	Planta San Bartolo, Sololá, Guatemala, 22 l/s	8
Figura 1.5	Planta de Restrepo, Colombia 23 l/s	8
Figura 1.6	Planta Ciudad Corinto, el Salvador, 12 l/s	9
Figura 2.1	Esquema de clasificación de aguas residuales	13
Figura 2.2	Secuencia completa de tratamiento de aguas residuales	20
Figura 2.3	Bases de los procesos anaerobios	24
Figura 2.4	Diagrama simplificado de la oxidación anaerobia	27
Figura 2.5	Diagrama elemental del proceso anaerobio	28
Figura 2.6	Etapas de la digestión anaerobia	33
Figura 2.7	Representación esquemática de un reactor UASB	36
Figura 3.1	Estructura de desarrollo experimental de la investigación	44
Figura 3.2	Ubicación geográfica de la investigación	45
Figura 3.3	Ubicación de la instalación del reactor UASB	47
Figura 3.4	Diseño de reactor UASB	52
Figura 3.5	Diseño de tanque de almacenamiento de agua residual	52
Figura 3.6	Diseño de campana o separador gas líquido sólido	55
Figura 3.7	Construcción de módulo del reactor	56
Figura 3.8	Construcción del reactor UASB	57
Figura 3.9	Instalación del sistema de captación	58

Figura 3.10	Instalación del sistema de conducción	58
Figura 3.11	Instalación de tanque de almacenamiento	59
Figura 3.12	Instalación del módulo	60
Figura 3.13	Instalación del reactor UASB	60
Figura 3.14	Instalación de válvulas de muestreo del reactor UASB	61
Figura 3.15	Instalación del sistema de recuperación del biogás	62
Figura 3.16	Pintado del reactor	62
Figura 3.17	Selección de puntos de muestreo del reactor	64
Figura 3.18	Punto de muestreo del afluente	65
Figura 3.19	Puntos de muestreo del Reactor	66
Figura 3.20	Punto de muestreo del efluente	66
Figura 3.21	Frascos de muestreos	67
Figura 3.22	Proceso de inoculación de lodo en el reactor	68
Figura 3.23	Válvulas de regulación de caudal y toma de muestras	69
Figura 3.24	Punto de aforo de regulación de caudal de alimentación	70
Figura 3.25	Extracción e incineración del biogás	71
Figura 3.26	Mantenimiento de tanque de almacenamiento	72
Figura 3.27	Mantenimiento del sistema de captación	73
Figura 3.28	Determinación de temperatura	74
Figura 3.29	Determinación de pH	74
Figura 3.30	Determinación de turbiedad	76
Figura 3.31	Determinación de conductividad, salinidad y STD	77
Figura 3.32	Determinación de acidez	78
Figura 3.33	Determinación de alcalinidad	79

Figura 3.34	Determinación de demanda bioquímica de oxígeno	81
Figura 3.35	Determinación de demanda química de oxígeno	83
Figura 3.36	Determinación de sólidos totales	85
Figura 3.37	Determinación de sólidos volátiles totales	85
Figura 3.38	Muestras en desecador	86
Figura 3.39	Determinación de sólidos suspendidos	87
Figura 3.40	Determinación de coliformes fecales o termotolerantes	89
Figura 4.1	Comportamiento de caudal	94
Figura 4.2	Comportamiento de tiempo de residencia hidráulico	94
Figura 4.3	Comportamiento de la temperatura	95
Figura 4.4	Perfil de temperatura durante el día	96
Figura 4.5	Comportamiento de pH	97
Figura 4.6	Comportamiento de la turbiedad	98
Figura 4.7	Remoción de la turbiedad	99
Figura 4.8	Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno	100
Figura 4.9	Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno	101
Figura 4.10	Comportamiento de la demanda química de oxígeno	102
Figura 4.11	Remoción de la demanda química de oxígeno	103
Figura 4.12	Comportamiento de los sólidos totales	104
Figura 4.13	Remoción de los sólidos totales	104
Figura 4.14	Comportamiento de los sólidos volátiles totales	105
Figura 4.15	Remoción de los sólidos volátiles totales	106
Figura 4.16	Comportamiento de coliformes fecales	107
Figura 4.17	Remoción de coliformes fecales	107

Figura 4.18	Comportamiento del biogás	108
Figura 4.19	Combustión de biogás producido	109

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Decreto supremo N° 004-2017–MINAM: estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.	117
Anexo 2. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales	128
Anexo 3. Calidad de aguas residuales de la PTAR Totorá	131
Anexo 4. Cálculos de diseño de Reactor UASB	140
Anexo 5. Datos de resultados experimentales	143
Anexo 6. Procedimiento de análisis de DQO	152

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AGV : Ácidos grasos volátiles

AR : Agua residual

CaCO₃: Carbonato de calcio

CF : Coliformes fecales

CH₄ : Metano

CO : Monóxido de carbono

CO₂ : Dióxido de carbono

COND: Conductividad

DBO₅ : Demanda bioquímica de oxígeno

DQO : Demanda química de oxígeno

EDAR : Estaciones depuradoras de aguas residuales

GSL : Gas - sólido - líquido

H₂ : Hidrógeno

H₂O : Agua

H₂S : Ácido sulfhídrico

L/S : Litro por segundo

m : Metro

mm : Milímetro

MO : Materia orgánica

N₂ : Nitrógeno

NaOH : Hidróxido de sodio

NO : Óxido nítrico

NO₂ : Nitritos

NO₃ : Nitratos

O₂ : Oxígeno

OD : Oxígeno Disuelto

pH : Potencial de hidrógeno

PTAR : Planta de tratamiento de aguas residuales

Q : Caudal

RAFA : Reactor anaeróbico de flujo ascendente

SAL : Salinidad

SDF : Sólidos disueltos fijos

SDT : Sólidos disueltos totales

SO₃ : Sulfitos

SSF : Sólidos suspendidos fijos

SST : Sólidos suspendidos totales

SSV : Sólidos suspendidos volátiles

ST : Sólidos totales

STF : Sólidos totales fijos

STV : Sólidos totales volátiles

STD : Sólidos totales disueltos

T° : Temperatura

TRH : Tiempo de retención hidráulico

UASB : Upflow anaerobic sludge blanket

UFC : Unidades formadoras de colonias

°C : Grado centígrado

CAPÍTULO I

INTRODUCCION

En la mayoría de las ciudades del Perú, el acelerado crecimiento demográfico, sin la infraestructura sanitaria adecuada y la ausencia de programas de sensibilización hacia los problemas ambientales, han llevado a la contaminación severa de los cuerpos de agua del país con los consecuentes problemas ambientales y de salud pública.

En el presente trabajo de tesis se ha construido e instalado un reactor anaerobio de tipo UASB (upflow anaerobic sludge blanket) o RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente), en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho, para evaluar su funcionamiento y determinar los parámetros del proceso de depuración de las aguas residuales, tomando como materia prima el efluente de la salida de los desarenadores de la planta, con la finalidad de buscar las posibilidades de ampliar la capacidad de tratamiento, empleando una nueva alternativa tecnológica que permita alcanzar los niveles de calidad establecidos por la legislación peruana a la salida de la PTAR.

El funcionamiento de un reactor UASB, se basa en la actividad de bacterias que degradan la materia orgánica, reducción de la turbidez, remoción de coliformes del agua residual, y se desarrollan de manera continua formando un lodo

biológicamente activo dentro del reactor, manteniendo un buen contacto con el agua residual y un tiempo de residencia adecuado para alcanzar una alta eficiencia en la remoción de material orgánico biodegradable.

En este trabajo de investigación se demuestra la aplicabilidad de una tecnología alterna en el tratamiento primario de aguas residuales, a través de los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB), que tiene la ventaja de generar un gran ahorro de terreno en comparación a los tanques imhoff, lagunas facultativas. Simplifica la operación, reduce los costos de construcción y es flexible para procesar diferentes caudales de aguas residuales, en comparación con las tecnologías tradicionales.

1.1 ANTECEDENTES

El reactor anaerobio de flujo ascendente UASB fue desarrollado por el profesor Gatzke Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda y sus colaboradores durante los años 1970. Esta tecnología fue desarrollada comercialmente y difundida en el mundo desde el año 1980 para la aplicación especialmente en tratamiento de aguas residuales con alto contenido de sustratos.

Es una de las tecnologías de tratamiento anaerobio más difundidas para tratar aguas residuales. Muchos de estos reactores vienen siendo usados en países como India, Brasil, Colombia, Egipto. Pero el tratamiento a través del UASB por sí sólo no puede alcanzar los estándares de calidad para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales; por ello, es necesario complementarlos con un tratamiento secundario y/o complementario mediante sistemas de tratamiento aerobios.

En el año 1982, bajo el convenio entre la Universidad de Wageningen y la Universidad del Valle, así como con las Empresas públicas Municipales de Cali – Colombia, se quiso probar la factibilidad del sistema UASB para el tratamiento directo de las aguas domésticas, dado que la temperatura es estable todo el año y mayor a 20 °C. Es así, que se construyó un reactor piloto “Cañaveralejo” de 60 m³ que se monitoreó durante 4 años.

Este convenio fue el nacimiento de una verdadera “revolución tecnológica tropical”, pues después de 10 años iniciales de búsquedas, aciertos y errores, el sistema UASB se ha convertido hoy en día un sistema de tratamiento confiable, con costos de tratamiento considerablemente inferiores a los sistemas clásicos, y está mucho más al alcance del presupuesto del ciudadano latinoamericano promedio.

Los detalles tecnológicos de estos reactores y los procedimientos contractuales se han afinado en estos últimos 10 años, y los sistemas UASB representan hoy en día más de 50 % de las plantas compactas de tratamiento en poblaciones de tamaño medio, entre 5 000 y 50 000 habitantes, con eficiencias de remoción del 75 al 80 %. (Conil, 2005).

1.1.1 PLANTA EL VIVERO

Año 1988, Colombia.

Después de la fase de investigación sobre la planta piloto de “Cañaveralejo” (60 m³), las empresas municipales de la ciudad de Cali – EMCALI – decidieron

construir la primera planta UASB del mundo a escala real para tratamiento directo de aguas domésticas, y escogieron un barrio urbano de la ciudad (Vipasa) con alcantarillado separado.

La planta fue diseñada para un caudal de 45 l/s, que corresponde a grosso modo a una población de 20 000 habitantes, e inicio su arranque en 1988.

A pesar del apoyo de una compañía de ingenieros holandeses a través de la cooperación holandesa, su puesta en operación inicial fue un fracaso, pues los vecinos se quejaron por el olor y lograron hacer cerrar esta primera planta UASB a los pocos meses de haber iniciado su puesta en operación.

En 1993, previo a una serie de análisis de un grupo de ingenieros de EMCALI y el Gerente del servicio de acueducto y alcantarillado, EMCALI tomó la decisión de proceder a los arreglos necesarios para la captación y combustión del biogás, y el control de olores en general.

Así, se suscribió un contrato de “rehabilitación” entre EMCALI y BIOTEC COLOMBIA S.A., y en junio de 1994, la planta arrancó de nuevo, sin que los mismos vecinos se dieran cuenta.

La planta sigue funcionando a la fecha, aunque desde 1997 con solo uno de sus dos reactores, pues por cambios en la red de alcantarillado, el caudal de llegada ya no alcanza a los 45 l/s promedio. (Conil, 2005).



Figura 1.1: Planta el Vivero, Cali - Colombia, 45 l/s, (Conil, 2005)

1.1.2 PLANTA RÍO FRÍO

Año 1991, Bucaramanga.

Esta planta fue fruto de una decisión visionaria de la corporación ambiental de la Región, y del apoyo de la cooperación holandesa, y fue en su tiempo la planta UASB más grande del mundo para aguas residuales domésticas (160 000 habitantes). Los reactores UASB están combinados con unas lagunas de post-tratamiento.

En 1995 la C.D.M.B. construyó una tercera unidad UASB (cada una para 80 000 habitantes), para incrementar la capacidad de la planta a 540 l/s (240 000 habitantes), y está programada la ampliación de la cuarta.

El lodo se seca sobre amplios lechos de secado y es utilizado como acondicionador de suelo.

El diseño de ésta primera mega planta UASB, puede considerarse como de primera generación. Se presenta arrastre de sólidos suspendidos a la laguna y olores molestos para el vecindario, a pesar de una buena recolección y combustión del biogás en la tea. (Conil, 2005).

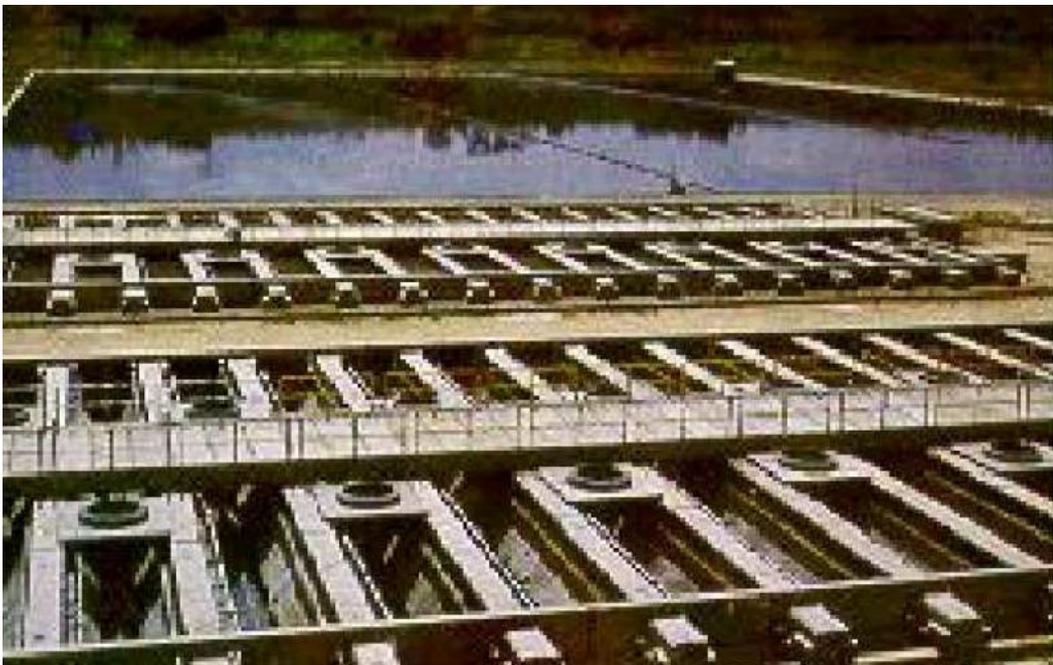


Figura 1.2: Planta Río Frío, Bucaramanga - Colombia 370 l/s, (Conil, 2005)

1.1.3 PLANTA SAN ANTONIO

Año 1995, Guatemala.

Esta planta fue de las primeras en combinar reactores UASB con filtros percoladores y clarificador final, como se aprecia en la siguiente figura.

Esta combinación, logra una eficiencia total del 90% sin consumo eléctrico alguno en tratar aguas residuales de manera anaerobia a 2 000 m.s.n.m., con una temperatura del agua de 18 °C, y en comercializar la totalidad de sus subproductos: biogás, abono seco y agua tratada. La producción de lodo es muy pequeña pues los lodos aerobios recuperados en los decantadores son devueltos en cabeza de planta para su digestión en los reactores UASB (bombeo de 20 minutos diarios con una bomba de gasolina). (Conil, 2005).

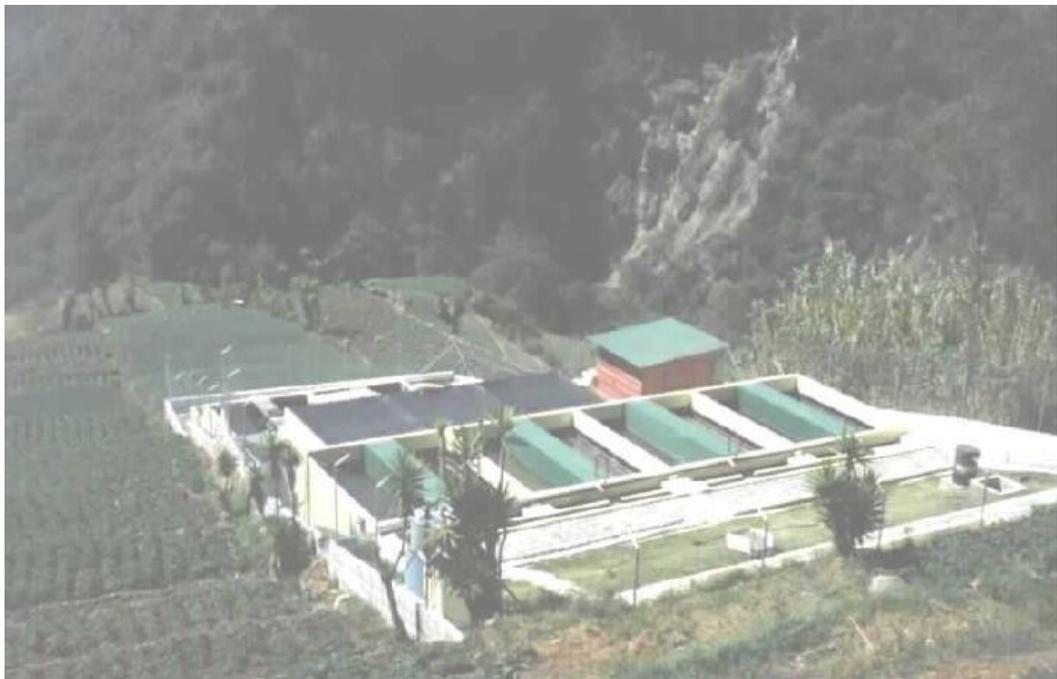


Figura 1.3: Planta San Antonio, Sololá, Guatemala, 10,5 l/s, (Conil, 2005)

1.1.4 PLANTA SAN BARTOLO

Año 1998, Guatemala.

Esta planta es una copia ampliada de la PTAR de San Antonio, para tratar la mayor parte de las aguas residuales de la municipalidad de Sololá.

Es probablemente la planta UASB más completa e integrada de América Latina, aunque es de tamaño mediano (22 l/s).

Dos enormes gasómetros almacenan la producción de biogás para su venta a los barrios aledaños (conexiones domiciliarias en PVC).

Los costos de operación y mantenimiento de esta planta no superan 1,00 dólar por habitante por año, y todos los subproductos (biogás, lodo-abono, y agua tratada) son valorizados. (Conil, 2005).



Figura 1.4: Planta San Bartolo, Sololá, Guatemala, 22 l/s, (Conil, 2005)

1.1.5 PLANTA DE RESTREPO

Año 1999, Colombia.

Esta planta fue contratada por la autoridad ambiental “corporación autónoma del valle del Cauca – CVC” para la municipalidad de Restrepo de 9 000 habitantes (23 l/s).



Figura 1.5: Planta de Restrepo, Colombia 23 l/s, (Conil, 2005)

Es una planta UASB con post-tratamiento por filtro percolador y decantador final, con el mismo concepto, y aprovechando la misma experiencia, de las plantas BIOTEC en Guatemala. (Conil, 2005).

1.1.6 PLANTA DE LA URBANIZACIÓN CIUDAD CORINTO

Año 2000, El Salvador.

Esta planta fue construida para una urbanización privada de 1 300 viviendas, en un terreno sobrante y con pendiente mayor a 45°. Consta también de un sistema UASB con filtro percolador y decantador final, más lechos de secado.

El sistema UASB de BIOTEC fue escogido por la necesidad de una planta muy compacta que pudiera ubicarse sobre esta enorme pendiente, que además es zona sísmica. El diseño contratado anteriormente por la urbanizadora no cabía en el lote disponible.



Figura 1.6: Planta Ciudad Corinto, el Salvador, 12 l/s, (Conil, 2005)

Esta planta resistió sin inconveniente los temblores de San Salvador de febrero en el año 2000, a pesar del miedo de todos los obreros de ir a trabajar en esta planta ubicada al pie de un talud muy vertical, y asentada sobre un gran relleno, de cerca de 25 metros de altura. (Conil, 2005).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, generalmente, las plantas de tratamiento de aguas residuales se diseñan, construyen y ponen en funcionamiento, sin tomar en cuenta los parámetros experimentales que corresponden a las características fisicoquímicas y microbiológicas de cada lugar, ni a las características climatológicas y geográficas del mismo, de acuerdo a los requerimientos de tratamiento primario y secundario; por esta razón muchas plantas que hoy están en funcionamiento, al no tener en cuenta estos criterios no están funcionando adecuadamente.

1.2.1 PROBLEMA PRINCIPAL

¿La falta de parámetros de operación en el tratamiento de aguas residuales mediante reactores UASB en la PTAR “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho, es un factor limitante para la implementación de reactores UASB a gran escala, con el fin de mejorar y ampliar su capacidad de tratamiento?

1.2.2 PROBLEMA ESPECÍFICO

1. ¿Existe la necesidad de conocer los criterios de diseño para construir reactores UASB de acuerdo a las características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales de la PTAR “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho, establecidos experimentalmente?
2. ¿Existe la necesidad de evaluar las variables de proceso a la entrada y salida del reactor UASB a escala piloto?

3. ¿El diseño, construcción y funcionamiento de un reactor UASB a escala piloto, permitirá obtener los parámetros de diseño para construir reactores de gran capacidad, con la finalidad de mejorar y ampliar la capacidad de procesamiento de la PTAR “La Totora”?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un reactor anaeróbico de flujo ascendente UASB a escala piloto para evaluar parámetros de operación en la planta de tratamiento de aguas residuales, “La Totora” de la ciudad de Ayacucho.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer los criterios de diseño para construir e implementar un reactor UASB, de acuerdo a las características de las aguas residuales a la salida de los desarenadores de la PTAR “La Totora”.
2. Evaluar la temperatura, pH, turbiedad, ST, SVT, DBO₅, DQO, coliformes fecales o termotolerantes, alcalinidad, acidez, conductividad, a la entrada y salida del reactor.
3. Determinar los parámetros de operación del reactor UASB para su funcionamiento eficiente.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 HIPOTESIS GENERAL

A condiciones ambientales en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá”, es posible implementar y poner en funcionamiento reactores UASB, con la finalidad de mejorar la capacidad de depuración de los contaminantes.

1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Es necesario definir criterios de diseño antes de implementar y poner en funcionamiento un reactor UASB.
2. En un reactor UASB instalado en la PTAR “La Totorá” es posible evaluar las variables de proceso de depuración de aguas residuales.
3. De acuerdo a la evaluación de las variables de proceso en el reactor UASB, es posible determinar los parámetros de proceso.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El uso de los reactores UASB se justifica debido a su versatilidad en el manejo, control, y mantenimiento relativamente sencillo y por el requerimiento de espacios relativamente pequeños.

Desde el punto de vista ambiental, el reactor UASB constituye una tecnología limpia ya que la producción de lodos es relativamente baja y el biogás producido puede ser empleado como fuente de energía en la misma PTAR.

La evaluación de un reactor UASB a escala piloto, se justifica debido a que proporciona los parámetros de operación, es decir la información técnica orientada a la ampliación y mejoramiento de la PTAR “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 AGUAS RESIDUALES

Según lo establecido en la Norma OS.090 del reglamento nacional de edificaciones, el agua residual se define como el agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico (que contiene carbono) e inorgánico disuelto o en suspensión (que está formado por otros elementos a excepción del carbono). (Norma OS.090, 2006).

2.1.1 CLASIFICACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales se clasifican de acuerdo a la figura siguiente, cuyas definiciones se describen líneas abajo.

2.1.1.1 Aguas residuales domésticas

Agua de origen doméstico (viviendas), comercial e institucional, que contiene desechos fisiológicos y otros componentes provenientes de la actividad humana (Norma OS.090, 2006).

2.1.1.2 Aguas residuales municipales

Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (Norma OS.090, 2006).

2.1.1.3 Aguas residuales industriales

Son aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (Norma OS.090, 2006).

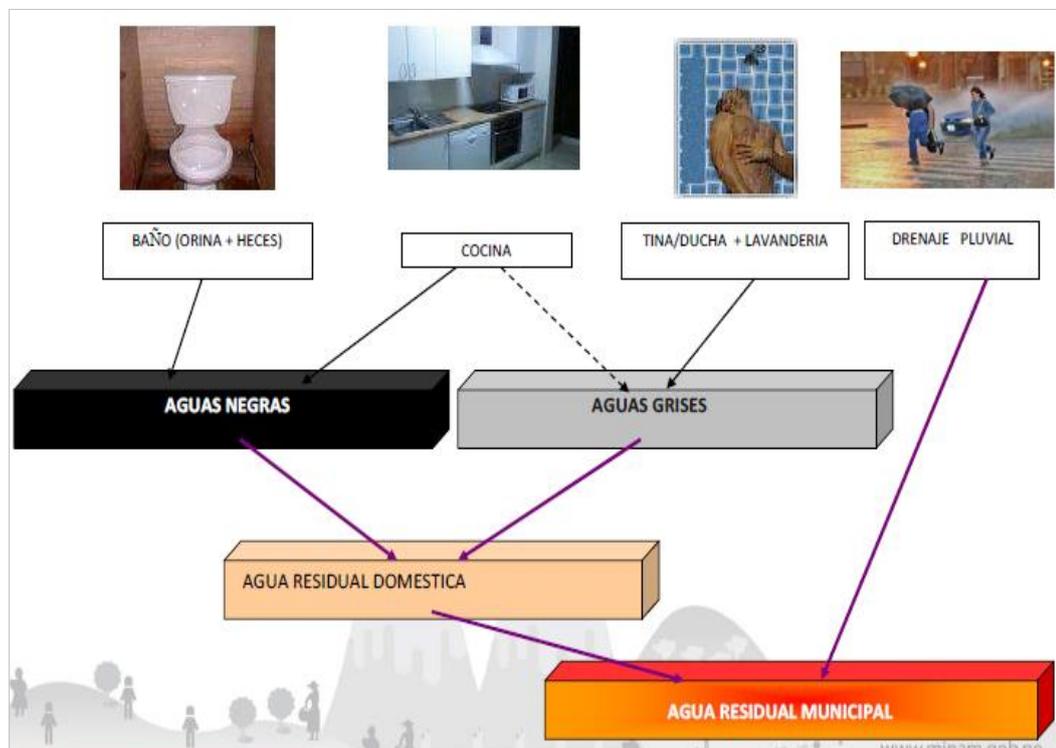


Figura 2.1: Esquema de clasificación de aguas residuales (Becerra, 2016).

2.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es importante de cara al proyecto y explotación de las infraestructuras tanto de recogida como de tratamiento y evaluación de las aguas residuales, así como de la gestión de la calidad ambiental.

Por ello para el tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

2.1.2.1 Características fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas del agua residual se describen a continuación:

a) pH

Logaritmo de base 10 de la recíproca de la concentración de iones hidrógeno, expresada en moles por litro. Se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución. Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática y pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática e interfieren el tratamiento biológico.

b) Temperatura

Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. Por lo general, un objeto más "caliente" tendrá una temperatura mayor. A medida que es mayor la

energía sensible de un sistema se observa que está más "caliente" es decir, que su temperatura es mayor. La temperatura se expresa en distintas escalas como la centígrada (°C) o la fahrenheit (°F). Las descargas con altas temperaturas causan daños a la flora y fauna de las aguas receptoras. Interfiere con la producción de las especies, incrementa el crecimiento de bacterias y otros organismos, acelerar las reacciones químicas, reducir los niveles de oxígeno y acelerar la eutrofización.

c) Oxígeno disuelto

Cantidad de oxígeno solubilizado en un líquido. Es importante mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto en el agua para asegurar la supervivencia de los peces y otros organismos de vida acuática. La temperatura, el material orgánico disuelto, los oxidantes inorgánicos, etc. afectan sus niveles. Una baja concentración de oxígeno disuelto puede ser un indicador de que el agua tiene una alta carga orgánica provocada por aguas residuales.

d) Demanda química de oxígeno

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio. Se expresa en mg/l. Es importante obtener una medida de la DQO en aguas residuales industriales pues en casos, estas contienen contaminantes orgánicos no biodegradables.

e) Demanda bioquímica de oxígeno

Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C). Se expresa en mg/l. La prueba mide la contaminación orgánica del agua.

f) Sólidos totales

Los sólidos totales es la materia que se obtiene como residuo después de someter el agua residual a un proceso de evaporación entre 103°C a 105°C. Se expresa en mg/l.

g) Sólidos suspendidos

Son las partículas flotantes o suspendidas en el agua residual que pueden ser separadas del líquido por medio de medios físicos como la filtración. Son los sólidos no filtrables. Se expresa en mg/l.

h) Nutrientes

Están presentes en aguas servidas como nitrógeno y fósforo; siendo bioestimuladores teniendo como principal impacto la eutrofización. El nitrógeno se encuentra principalmente en las proteínas; también como amoníaco, orgánico, nitritos, nitratos. Los nitratos producen alteración en infantes. El fósforo lo encontramos en los detergentes fosfatados, ortofosfatos, olifosfatos, fosfatos orgánicos siendo esencial para alimentación para las algas.

i) Sulfatos

Se reducen a sulfuros en los digestores de fangos y pueden alterar el normal desarrollo de los procesos de tratamiento biológico cuando la concentración es mayor a 200 mg/l. Los sulfuros son corrosivos para las alcantarillas.

j) Aceites y grasas

Compuestos orgánicos de gran estabilidad. Su degradación es muy lenta biológicamente. Entorpecen la transferencia de oxígeno.

k) Metales pesados

Origen principalmente en actividades industriales. Alto potencial tóxico. Entran en cadena alimenticia produciéndose bioacumulación.

2.1.2.2 Características microbiológicas

a) Coliformes totales

Las bacterias del género coliformes se refiere a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se desarrollaron pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como

indicadores de contaminación. Por lo tanto, se distinguen coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales de origen intestinal.

b) Coliformes fecales o termotolerantes

Las bacterias del género coliformes se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente. Ellos se introducen en gran número al ambiente por las heces de humanos y animales y por lo tanto la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Los coliformes proporcionan una medida de la contaminación del agua proveniente de la contaminación fecal.

c) Nemátodos intestinales

Son parásitos tales como: *Áscaris lumbricoides*, *trichuris trichiura*, *necator americanus* y *ancylostoma duodenale*, entre otros, cuyos huevos requieren de un período latente de desarrollo antes de causar infección y su dosis infectiva es mínima (un organismo).

Son considerados como los organismos de mayor preocupación en cualquier esquema de reúso de aguas residuales.

Deben ser usados como microorganismos indicadores de todos los agentes patógenos sedimentables.

Tabla 2.1: Características del agua residual

Características fisicoquímicas	Características microbiológicas
pH	Coliformes totales Coliformes
Temperatura	fecales Nemátodos intestinales
Oxígeno disuelto	
DBO ₅	
DQO	
Sólidos totales	
Sólidos suspendidos	
Nutrientes	
Sulfatos	
Aceites y grasas	
Metales pesados	

Fuente: (Norma OS.090, 2006)

2.1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales puede dividirse en las siguientes etapas:

a) Pre tratamiento o tratamiento preliminar

Consiste en la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las maquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora.

En el pre tratamiento se efectúa un desbaste (rejas) para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en

suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua residual así como elementos flotantes.

b) Tratamiento Primario

El tratamiento primario que recibe las aguas residuales consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos floculentos bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. En algunos casos se puede utilizar la coagulación como auxiliar del proceso de sedimentación. Entre los principales procesos y operaciones de tratamiento primario están: sedimentación, coagulación y floculación, tanques imhoff, digestión primaria de lodos (Rossi, 2010).

c) Tratamiento secundario

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento (Becerra, 2016), secundario o biológico ha sido diseñado, tomando como ejemplo el proceso biológico de autodepuración, anteriormente mencionado, que ocurre naturalmente. La aplicación de éste en aguas servidas, previene la contaminación de los cuerpos de agua antes de ser descargadas. En estos procesos, la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales domésticas actúa como nutriente de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas, en resumen, el tratamiento biológico es por tanto una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para

acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua (Rossi, 2010).

d) Tratamiento terciario

Los objetivos del tratamiento terciario son eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso hasta llegar a potabilizarla si se desea. En el tratamiento de aguas servidas, es importante tener en cuenta el manejo de los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario. Estos lodos, no tienen valor económico, pero si ocasionan daños al medio ambiente (Rossi, 2010).

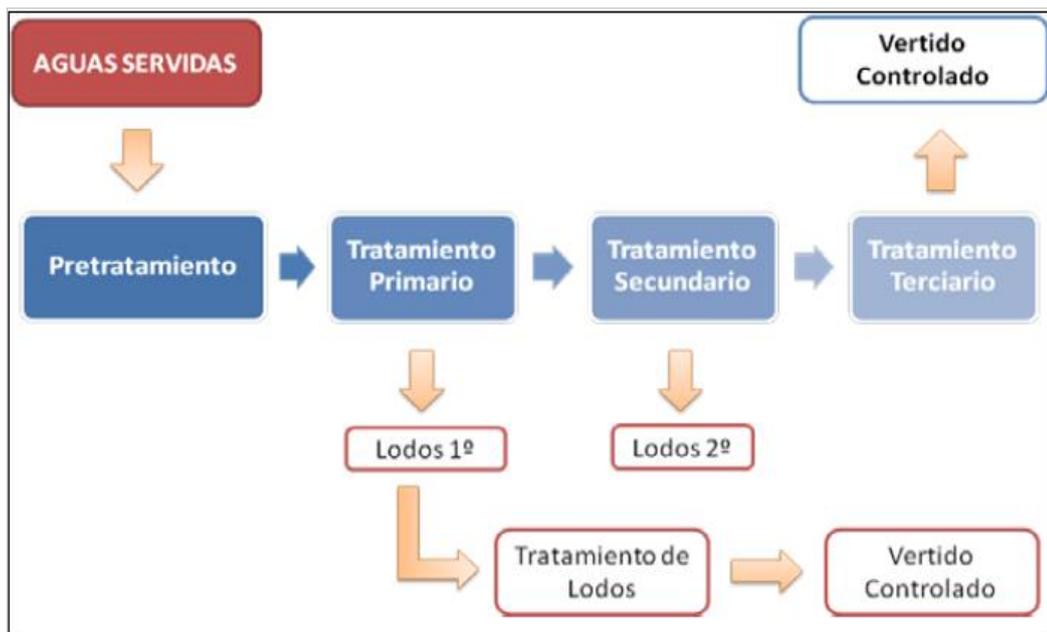


Figura 2.2: Secuencia completa de tratamiento de aguas residuales (Rossi, 2010).

En la actualidad existen numerosos reactores biológicos para el tratamiento de las aguas servidas y son clasificados según:

a) El proceso bioquímico

- ✓ Proceso aeróbico: lodos activados, lagunas de maduración, filtros biológicos, lagunas de alta velocidad.
- ✓ Proceso anaeróbico: lagunas anaeróbicas, reactores anaeróbicos tipo UASB (upflow anaerobic sludge blanket).
- ✓ Proceso facultativo: lagunas facultativas, algunos tipos de humedales artificiales “wetlands”, reservorios de aguas servidas.

b) La intensidad del proceso

- ✓ Reactores intensivos: lodos activados, reactores anaeróbicos tipo UASB, filtros biológicos de alta velocidad.
- ✓ Reactores súper-intensivos: reactores de membrana, lodos activados combinados con biomasa fija.
- ✓ Reactores extensivos: lagunas de estabilización, reservorios de aguas servidas, SAT (soil aquifer treatment), humedales artificiales, lagunas de macrófitas.
- ✓ Reactores semi-intensivos: lagunas anaeróbicas, lagunas airadas de baja energía, filtros biológicos de baja tasa, lagunas de alta tasa.

c) El régimen operacional

- ✓ Reactores de flujo continuo: lodos activados de flujo continuo, reactores de anaeróbicos tipo UASB, filtros biológicos, lagunas de estabilización, humedales artificiales, lagunas de macrófitas.
- ✓ Reactores batch secuenciales: lodos activados secuenciales, reservorios de aguas servidas secuenciales.
- ✓ Reactores por pulsos: algunos tipos de humedales artificiales de flujo vertical, filtros de arena intermitentes.
- ✓ Reactores de mezcla completa y en flujo de pistón.

d) Las características de la biomasa

- ✓ Reactores con biomasa suspendida: lodos activados, reactores anaeróbicos de tipo UASB, lagunas de estabilización, lagunas aireadas.
- ✓ Reactores con biomasa fija o biofilms: filtros biológicos, humedales artificiales, lagunas de maduración, filtros de rocas.

Tabla 2.2: Características de los principales niveles de tratamiento

Nivel de tratamiento	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	SS: <10%, DBO: <10% Coliformes: ≈ 0% Nutrientes: ≈ 0%

Continuación de la tabla 2.2:

Nivel de tratamiento	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencias de reducción
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente)	SS: 40 – 50 % DBO: 25 – 35% Coliformes: 30-40% Nutrientes: <20%
Primario avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fosforo	SS: 70 – 85 % DBO: 45-55 % Coliformes: 60 – 90 % Nutrientes: 20 %N, 50 – 95 %P
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables. Materia orgánica suspendida fina/soluble (parcialmente). Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	SS: 60 – 99% DBO: 60 – 99% Coliformes: 60 – 99% Nutrientes: 10 – 50 %
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: > 99% DBO: > 99% Coliformes: > 99.9% Nutrientes: > 90 %

Fuente: (Torres, 2012)

2.1.4 IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los desechos humanos son la principal vía para la transmisión y propagación de una variedad de enfermedades contagiosas. Algunas de estas enfermedades, como diarreas, junto a la malnutrición, las enfermedades respiratorias y la malaria, son las principales causas de enfermedad y muerte de pobladores, en especial los niños de países tercermundistas. Los desechos humanos son la principal vía para la transmisión y propagación de una variedad de enfermedades contagiosas.

Todas estas enfermedades y muchas otras tienen su origen en un individuo infectado y su transmisión se da por las excretas humanas. Es por esta razón que la colección, el transporte y tratamiento de los desechos municipales son de gran importancia para la protección de la salud de cualquier comunidad. Se consideran aún más importantes las sociedades que reconocen los valores de reúso de estos desechos tratados.

El tratamiento de las aguas residuales es realizado con el propósito de evitar la contaminación física, química, bioquímica, biológica y radioactiva de los cursos y cuerpos de agua receptores. De un modo general, el tratamiento persigue evitar:

- ✓ Daños a los abastecimientos públicos, privados e industriales de suministro de agua.
- ✓ Daño a las aguas destinadas a la recreación y el esparcimiento.
- ✓ Daños a las actividades piscícolas.
- ✓ Perjuicios a la agricultura y depreciación del valor de la tierra.
- ✓ Impacto al entorno ecológico.

El tratamiento de las aguas residuales ha sido una consecuencia del desarrollo de la civilización y que se caracteriza por el aumento de la densidad demográfica y expansión industrial. Las razones que justifican el tratamiento de las aguas residuales pueden ser resumidas en cuatro puntos:

- ✓ Razones higiénicas o de salud pública.
- ✓ Razones económicas.
- ✓ Razones estéticas.
- ✓ Razones legales.

En la selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, el eco eficiencia busca integrar unidades que en conjunto permitan alcanzar los objetivos del tratamiento, pero basado en los siguientes criterios:

- ✓ Menor área de terreno empleado.
- ✓ Reducir el empleo de energía eléctrica.
- ✓ Reducir el uso de químicos u otros insumos que impliquen consumo de recursos y por lo tanto mayor costo.
- ✓ Reducir la generación de lodos resultantes del proceso de tratamiento.
- ✓ Promover la generación de biogás como subproducto del tratamiento.
- ✓ Reúso de las aguas residuales tratadas.

El resultado de un sistema eco eficiente de tratamiento de desagües es finalmente aquel que priorice los máximos beneficios que se pueda obtener con dicho sistema.

La generación de biogás en sistemas de tratamiento con procesos biológicos anaerobios ha sido ya empleada en varias zonas con climas cálidos y puede ser promovido como una tecnología de enfoque ecoeficiente.

2.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

El proceso de digestión anaerobia consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos en ausencia de oxígeno molecular. En ella se obtiene como subproducto el denominado biogás que se compone de un 70% de metano y un 30% de una mezcla de dióxido de carbono y otros compuestos como nitrógeno, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno, los cuales son responsables de los malos olores generados durante la digestión (Caicedo, 2006). En la figura 2.3, se muestra las bases de los procesos anaerobios de aguas residuales.



Figura 2.3: Bases de los procesos anaerobios (Polanco, 2014)

Dicho proceso se caracteriza por un conjunto de reacciones asociadas al metabolismo de numerosas especies de microorganismos, que son los

intermediarios necesarios para transformar la materia orgánica en sustratos simples fermentables por las bacterias metanogénicas.

En general, las bacterias son incapaces de alimentarse de material complejo por lo que las macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos) son hidrolizadas previamente por enzimas extracelulares a compuestos más simples (azúcares, aminoácidos y ácidos grasos).

Esta hidrólisis ayuda a que el material particulado y los polímeros orgánicos que componen las aguas residuales puedan ser asimilados por las bacterias e incorporados a sus procesos metabólicos, así: proteínas a aminoácidos, carbohidratos a azúcares, lípidos a ácidos grasos y alcoholes.

El proceso de fraccionamiento de la materia orgánica absorbe agua, por ello se denomina hidrólisis. El proceso ocurre en el exterior de las bacterias debido a la acción de catalizadores biológicos llamados exoenzimas, producidas por las bacterias acidogénicas o fermentativas. Dependiendo de la presencia de sustratos solubles o complejos en el agua residual, la hidrólisis puede ser rápida o muy lenta.

Después de obtenidas las moléculas simples en la hidrólisis, éstas pueden ser absorbidas a través de la pared celular de las bacterias y son descompuestas internamente mediante los procesos metabólicos. El proceso es llevado a cabo por las bacterias acidogénicas o fermentativas.

Como producto final del proceso de acidogénesis o fermentación está el ácido acético, o en su defecto otros ácidos grasos volátiles (AGV) como el propiónico, el butírico y el valérico. Dependiendo de la concentración de hidrógeno: si la presión parcial de hidrógeno es menor que 10^{-4} el producto final será ácido acético, de lo contrario, se obtienen los otros ácidos grasos. Además de los ácidos, la acidogénesis produce hidrógeno como un subproducto y su concentración se convierte en un elemento regulador del metabolismo del proceso, debido a que el ácido acético y el hidrógeno constituyen las vías de formación del metano.

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

En reactores anaerobios, especialmente con la presencia de sulfatos, puede presentarse un grupo de bacterias capaces de reducir los sulfatos a sulfuros. Estas bacterias son conocidas como “sulfato reductoras” (BSR), las cuales utilizan el sulfato como aceptor final de electrones.

Los sulfuros son muy solubles en agua pero el ácido sulfhídrico se volatiliza. Sin embargo, a pH neutro puede ocurrir algo de volatilización del sulfhídrico, ya que el

equilibrio se desplazará hacia este último. En el tratamiento de aguas que contienen SO_4^- y SO_3^- ocurre la siguiente reacción bioquímica:



Esta reducción de sulfato es realizada por organismos estrictamente anaerobios. Estos organismos son solamente capaces de utilizar un número limitado de electrones donados, particularmente por el hidrógeno. El proceso de sulfato reducción es importante en por lo menos tres aspectos:

La producción de metano por cantidad de DQO removido disminuye.

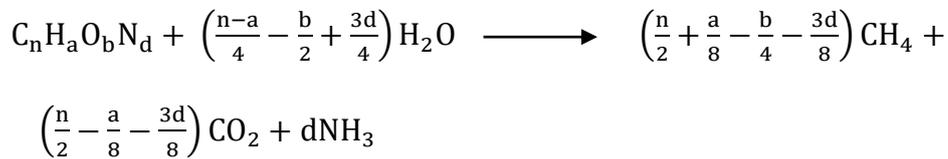
La reducción de sulfatos dará como resultado la formación de ácido sulfhídrico, compuesto bastante tóxico para la metanogénesis.

La formación de sulfuros puede causar considerables molestias en el ambiente.

La última etapa de la digestión anaerobia se lleva a cabo por la actividad de un grupo de bacterias conocido como metanogénicas. Este proceso se conoce como metanogénesis hidrogenolítica y se basa en la reducción de dióxido de carbono a metano, en el que el hidrógeno es fundamental, aunque el formiato, el CO y aún el hierro elemental pueden ser donadores de electrones en la metanogénesis.

Si la composición para el sustrato es conocida y si se convierte completamente a metano y dióxido de carbono (y amoníaco en caso de sustratos con contenidos de

nitrógeno), el metano teóricamente producido puede ser calculado de acuerdo con la siguiente ecuación (Caicedo, 2006).



Esta ecuación es válida para sustratos orgánicos biodegradables. Generalmente, el biogás producido en una digestión anaerobia contiene muy poco dióxido de carbono, y se puede calcular en base a la ecuación anterior. La razón radica en la significativa solubilidad del CO₂ en agua.

Las condiciones óptimas para un proceso anaerobio son:

- ✓ Nutrientes suficientes.
- ✓ pH entre 6,5 y 7,6
- ✓ Se deben prevenir los pH menores a 6,2 valores en que no trabajan las bacterias metanogénicas.
- ✓ Temperatura en el intervalo mesofílico 30-38°C o en el intervalo termofílico 50-60°C.
- ✓ Ausencia de Oxígeno.
- ✓ Ausencia de sustancias tóxicas, tales como metales pesados, sulfuros (Caicedo, 2006).

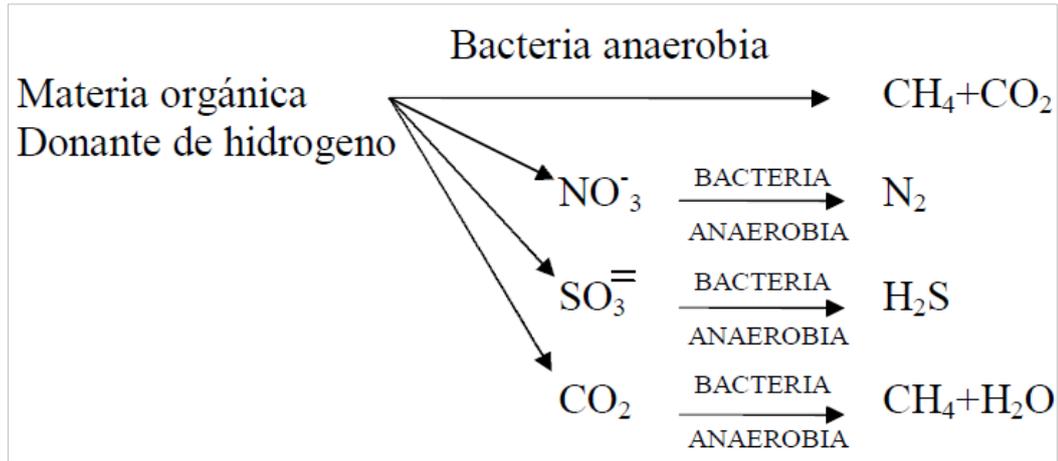


Figura 2.47: Diagrama simplificado de la oxidación anaerobia (Martinez & Camilo, 2007)

2.2.1 MICROBIOLOGÍA DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Prácticamente, la descomposición anaerobia es posible con todos los compuestos orgánicos que contienen oxígeno en sus moléculas. En el tratamiento anaerobio se puede considerar, por tanto, que ocurren los procesos básicos de la descomposición anaerobia, es decir, desnitrificación de nitratos, respiración de sulfatos, hidrólisis, acetogénesis y metanogénesis. El proceso microbial es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones paralelas y en serie, interdependientes entre sí.

En su forma elemental, se puede considerar el proceso anaerobio de descomposición de la materia orgánica integrado por dos etapas:

Fermentación de ácidos y fermentación de metano y ocurren simultáneamente, tal y como se muestran en la (figura 2.5).

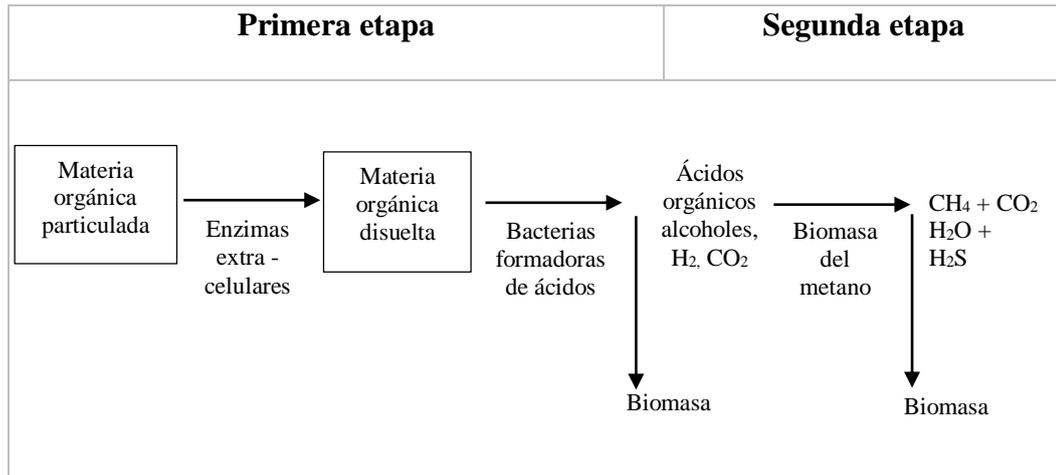


Figura 2.5: Diagrama elemental del proceso anaerobio (Martinez & Camilo, 2007)

La hidrólisis de polímeros orgánicos tales como carbohidratos, grasas y proteínas, estos son hidrolizados en unidades más pequeñas tales como azúcares, ácidos grasos de cadenas largas y amino ácidos.

Esto es efectuado por medio de enzimas extracelulares como la celulasa, amilasa, lipasa o proteasa.

La siguiente etapa en la degradación anaeróbica es conocida como acidogénesis, donde, los azúcares, ácidos grasos de cadena larga y aminoácidos resultantes de la hidrólisis son utilizados como sustratos por microorganismos fermentativos o por oxidantes anaeróbicos.

La acidogénesis a menudo es la etapa más rápida en la conversión anaeróbica de materia orgánica compleja en fase líquida.

Las bacterias acetogénicas son responsables de la conversión de los compuestos receptores de electrones producidos en la etapa acidogénica. La conversión de estos

compuestos intermedios es crucial para la exitosa producción de metano, debido a que los microorganismos metanogénicos no los pueden utilizar directamente.

La metanogénesis es la producción de metano y dióxido de carbono a partir de un limitado número de compuestos (acético, H_2 / CO_2 , metanol y ácido fórmico) que actúan como sustrato para los microorganismos metanogénicos. Alrededor de 70% del metano es obtenido vía reacción de acético y el restante es a partir de la reacción de H_2 / CO_2 . Los microorganismos metanogénicos consumidores de hidrógeno son los microorganismos de más rápido crecimiento en la digestión aeróbica, el mínimo tiempo de duplicación de estos microorganismos se estimó en 6 horas, comparado con 2,6 días de los microorganismos metanogénicos acetoclásticos.

Las bacterias que producen metano a partir del hidrógeno crecen más rápidamente que aquellas que usan ácido acético, de modo que las metanogénicas acetotróficas generalmente limitan la tasa de transformación de la materia orgánica compleja presente en el agua residual en biogás. Por conveniencia muchas veces los tres primeros procesos son llamados “fermentación ácida”, que se completan con la “fermentación metanogénica”.

La producción de metano depende principalmente del estado de oxidación del carbono en la materia orgánica.

Como en todo proceso, la digestión anaerobia posee diversos beneficios y también limitaciones. (Martinez & Camilo, 2007).

Tabla 2.1: Beneficios y limitaciones del tratamiento anaerobio

Beneficios	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Baja producción de exceso de lodo ✓ (Estable). ✓ Bajo requerimiento de nutrientes. ✓ Sin requerimiento de energía para aireación. ✓ Producción de metano. ✓ El proceso puede manejar frecuentemente altas cargas de alimentación. ✓ El lodo anaerobio puede ser preservado (inactivo) por muchos meses sin serios deterioros. ✓ Compuestos valiosos, como el amonio, son conservados, lo que en casos específicos puede representar un beneficio (si la irrigación puede ser aplicada). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las bacterias anaerobias (particularmente las metanogénicas) son muy susceptibles de inhibición por un gran número de compuestos. ✓ Si no se cuenta con lodo adaptado, el proceso de puesta en marcha es relativamente lento. ✓ La digestión anaerobia normalmente requiere de un adecuado pos tratamiento para la remoción de la DBO remanente, amonio y compuestos de mal olor. ✓ Existe poca experiencia práctica, sin embargo la situación a este respecto está cambiando rápidamente.

Fuente: (Lettinga, 1997)

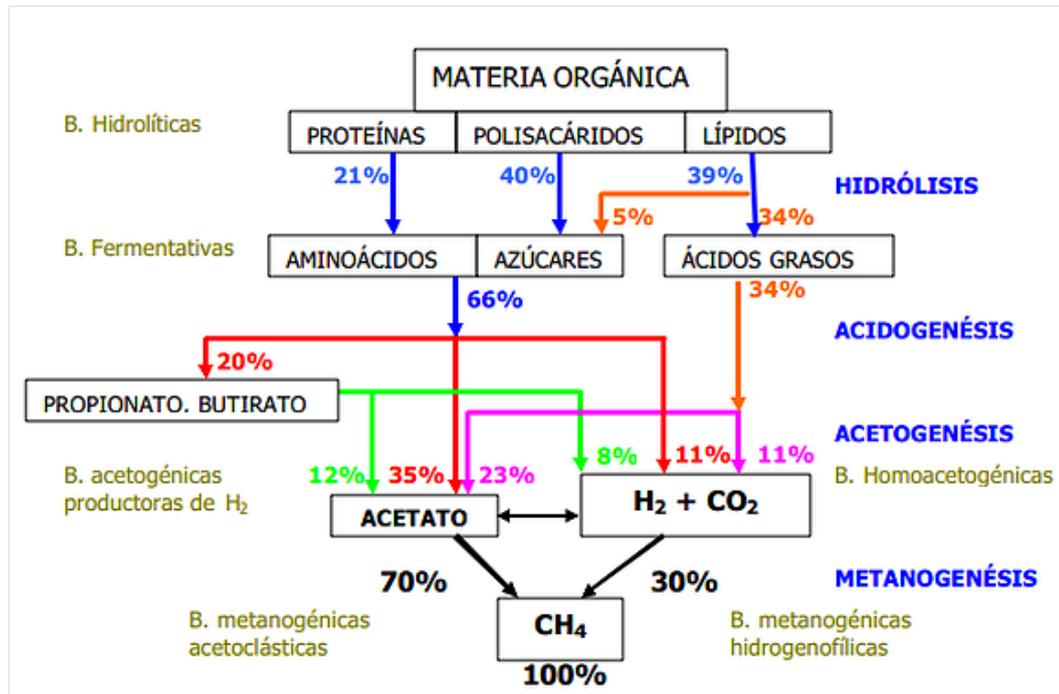


Figura 2.6: Etapas de la digestión anaerobia (Baez, 2008)

2.2.2 INHIBICIÓN DEL PROCESO ANAEROBIO

El proceso de la digestión anaerobia no es ajeno al ataque de numerosos compuestos que de una forma u otra, inciden de manera negativa en el proceso. Es por consiguiente un requisito, al trabajar con un proceso anaerobio, poder identificar la inhibición de la metanogénesis en una fase temprana para poder prevenir el fracaso del sistema. Los parámetros comúnmente usados para determinar los indicadores de inhibición son:

- ✓ Reducción en la producción de metano.
- ✓ Incremento en la concentración de AGV.
- ✓ Fallas en la remoción de DQO.
- ✓ Problemas con el pH.

- ✓ Pobre estabilidad al someterlo a sobrecargas.
- ✓ Respuesta lenta a condiciones de parada y arranque del sistema.

Existen sustancias que en cualquier concentración son inhibitorias de la metanogénesis como hidrocarburos clorados, cianuros, detergentes, antibióticos, formaldehídos y ácidos como el fluoracético (Caicedo, 2006).

Los efectos de algunos cationes, como sodio, potasio, calcio y magnesio, en la degradación anaerobia son de gran importancia en el arranque de un reactor anaerobio, al igual que los efectos producidos por el ácido sulfhídrico a 30°C. Investigaciones realizadas indican que la producción de gas no es una función lineal de la concentración de ácido sulfhídrico y que a concentraciones mayores de 200 mg/l producen severos efectos de inhibición y la producción de gas se detiene por completo. El factor más importante en la inhibición de la metanogénesis por azufre es la habilidad de las bacterias sulfato reductoras por competir con las bacterias metanogénicas por el hidrógeno libre y otros donadores de electrones tales como el metanol, acetato y propionato.

La toxicidad de detergentes es importante ya que estos compuestos estarán ocasionalmente presentes en los lixiviados, debido a los residuos de empaques que se encuentran en el relleno. Los detergentes aniónicos y catiónicos causan una inhibición metanogénica del 50% a una concentración de 50 y 20 mg/l respectivamente (Caicedo, 2006).

Fundamentalmente lo citado por Lettinga 1995, referido a que el tratamiento anaerobio debería ser el método principal de depuración de aguas residuales, debido a sus beneficios y enormes potenciales. Aunque los sistemas tradicionales de tratamiento aerobio alcanzan excelentes eficiencias, ellos no reúnen los criterios necesarios para la sostenibilidad de las inversiones en escenarios de recursos de capital y mano de obra.

2.3 REACTORES ANAEROBIOS.

En el tratamiento de las aguas residuales se emplean reacciones químicas y biológicas que transcurren bajo condiciones controladas en el interior de unidades o tanques llamados reactores (Crites & Tchobanglous, 2000).

Los reactores anaerobios emplean principalmente reacciones biológicas con características específicas. Los procesos de tratamiento anaerobio tienen aplicación principalmente en aguas residuales con concentración alta, con DBO₅ mayor de 1 000 mg/l, donde los compuestos orgánicos y el CO₂ se usan como aceptadores finales de electrones, para que las bacterias metanogénicas produzcan metano.

Muchos procesos anaerobios no requieren sedimentación primaria, pero es conveniente remover previamente la arena y material inerte para evitar su acumulación en el lodo, lo cual desplaza biomasa. Además de considerar las grasas aceites y sólidos suspendidos.

En la actualidad, preferiblemente a temperaturas mayores a 18°C y con un incremento del tiempo de retención por un factor de dos para cada disminución de 10°C en la temperatura de operación.

Un reactor operando a 35°C con un residuo degradable anaeróbicamente puede producir 1m³ de CH₄/m³ de reactor (Droste, 1997).

2.4 FUNDAMENTOS DEL PROCESO UASB

El desarrollo de tecnologías anaerobias para el tratamiento de fangos y residuos de alto contenido de materia orgánica se ha incrementado en los últimos 10 años. En condiciones anaerobias suelen ocurrir procesos como la desnitrificación, reducción de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénica. La conversión de la materia presente en el agua residual en metano es realizada por una comunidad microbiológica heterogénea compuesta por dos bacterias: No metanogénicas y metanogénicas.

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

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

- ✓ Bajas tasas de aplicación: Digestores de biogás, tanques sépticos, lagunas anaerobias.

- ✓ Altas tasas de carga orgánica: Reactores con crecimiento celular en suspensión, reactores con biopelícula fija.

El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de Biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH_4 y CO_2 . (Caicedo, 2006).

2.5 REACTORES UASB

La abreviación UASB se define como Upflow Anaerobic Sludge Blanquet o reactor anaerobio de flujo ascendente. Esta tecnología proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.

El primer trabajo publicado de un reactor de lecho suspendido data del año 1910 y se le denominó “tanque biolítico”, con tiempos hidráulicos de retención de 8,5 horas. Posteriormente, un nuevo invento se llevó a cabo en 1957 que consistió en un lecho suspendido con separador interno sólido-líquido, seguido de un filtro anaerobio. El reactor UASB, fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores en los años 70. El diseño de un reactor UASB consiste en una zona de reacción en la parte inferior, en la que se acumula la biomasa, la de mejor sedimentabilidad en el fondo y encima los lodos más ligeros.

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 o barro 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. Una de las ventajas del tratamiento anaeróbico sobre el tratamiento aeróbico es la producción de gas metano como fuente energética y la baja producción de lodo biológico.

El tratamiento de aguas residuales con reactores tipo UASB es el más difundido en América latina desde 1988. Estos reactores reemplazaron de cierta forma en las plantas de tratamiento aerobio a los sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, biodigestores para el tratamiento de lodos y gran parte de los sistemas de lodos activados, pues logran eficiencias de remoción comprendidas entre el 60 y 80% de la DQO y la DBO₅ en función de la concentración inicial del agua residual. Los UASB funcionan como tratamiento primario, tratamiento secundario, pero no llegan a eficiencias de remoción superiores al 82%. Para lograrlo, deben ser complementados por sistemas aerobios tradicionales como lodos activados, filtros percoladores o lagunas.

El reactor UASB está siendo experimentado con éxito en el tratamiento de aguas residuales muy diversas de procesos de la industria de alimentos, industriales, urbanas y lixiviados, aunque inicialmente se desarrolló para aguas residuales de tipos principalmente solubles y de concentración media. El tratamiento anaerobio

se recomienda para el lixiviado con una relación de DBO/DQO entre 0,7 y 0,3 (residuos parcialmente estabilizados).

El afluente es alimentado por el fondo del reactor, donde se pone en contacto con el lodo; la degradación anaerobia de los sustratos orgánicos ocurre en el lecho del lodo, y allí se produce el biogás, o sea, tanto la acidificación como la metanogénesis ocurren en el mismo reactor.

El flujo combinado ascendente de las aguas residuales, puede hacer que algunos de los sólidos del lodo lleguen a la parte superior del reactor, donde un separador gas-sólido-líquido, impide la salida de los sólidos del reactor separándolos del gas producido y del efluente líquido. El biogás es captado bajo una campana y conducido hacia la superficie del reactor. Algunos sólidos son arrastrados con el agua hacia el sedimentador, situado encima de la campana de gas, donde los sólidos sedimentan y retornan al manto de lodos, el efluente cae a un canal situado en la parte superior del reactor, donde es descargado. Las grandes concentraciones de biomasa con elevada actividad que se consiguen, permiten el funcionamiento a alta carga orgánica con buenas eficacias de eliminación. La biomasa activa puede estar en forma de gránulos compactos o en forma de lodos floculentos con buena sedimentabilidad lo cual convierte en su característica principal la retención de la biomasa sin necesidad de soporte (Caicedo, 2006).

Otras características son:

- ✓ Mayor superficie para la adhesión de microorganismos.

- ✓ Mayor concentración de bacterias que en otros sistemas, lo cual permite operar con velocidades de carga orgánica más elevadas.
- ✓ Minimización de problemas de colmatación por sólidos.
- ✓ Elevada velocidad de transferencia de materia, que facilita el tratamiento de aguas con un alto contenido de materia orgánica.
- ✓ Pérdida de presión en el lecho moderada.
- ✓ Concentración de lodos volátiles en la fuente moderada.

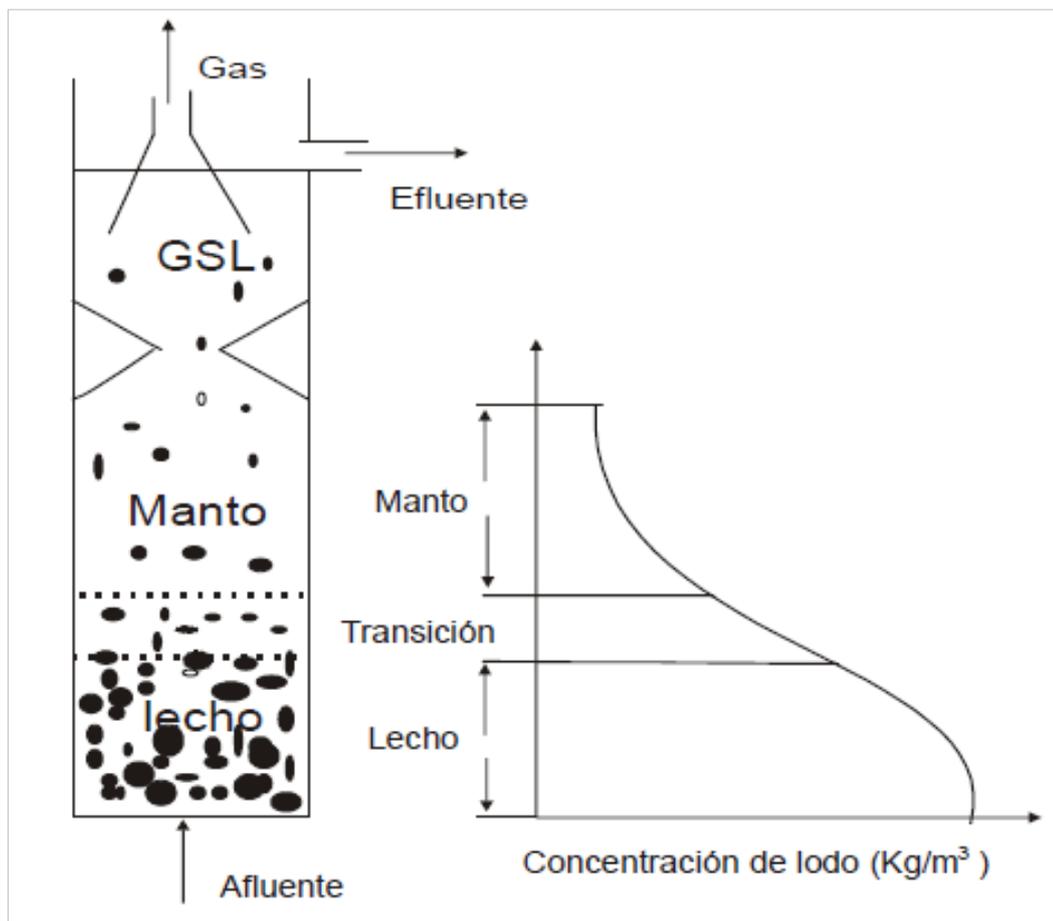


Figura 2.7: Representación esquemática de un reactor UASB (Arroyabe, Gonzalez, & Gallego, 2008)

2.5.1 VENTAJAS DEL REACTOR UASB

Los reactores del tipo UASB presentan una serie de ventajas sobre los sistemas aerobios convencionales, la inversión principalmente es menor en relación a los costos de instalación y mantenimiento, producción pequeña de lodos excedentes, consumo pequeño de energía eléctrica y simplicidad del funcionamiento, son económicos energética y ecológicamente.

Los filtros anaerobios son relativamente pequeños, fáciles de construir y presentan buenas eficiencias de remoción de materia orgánica (Castillo, Solano, & Rangel, 2006).

También proporcionan una mejora el grado de tratabilidad de las aguas residuales para las etapas subsecuentes, ya que en ellos hay mayor concentración de bacterias que en otros sistemas, lo cual permite operar con velocidades de carga orgánica más elevadas además de minimizar problemas de colmatación por sólidos y se reduce la posibilidad de cortos circuitos.

La pantalla que hay en el RAFA crea una zona de bajo nivel de turbulencia donde aproximadamente el 99,9% del lodo en suspensión se sedimenta en el fondo del reactor.

Otras ventajas de los reactores UASB, se describen a continuación:

- ✓ Baja producción de lodos (10% en relación al tratamiento aerobio).
- ✓ Bajos requerimientos nutricionales.
- ✓ El proceso puede manejarse con altas cargas intermitentes.
- ✓ Los lodos se conservan sin alimentación por largos períodos de tiempo.
- ✓ Producción de metano aprovechable.

- ✓ Bajos costos de operación al no requerir oxígeno.
- ✓ Identificación y medición de productos intermedios que proporcionan
- ✓ parámetros de control adicionales.
- ✓ Costo de inversión bajo.
- ✓ La fermentación ácida y metánica, así como la sedimentación tienen lugar en el mismo tanque, por lo cual las plantas son muy compactas.
- ✓ Como no hay relleno, se reduce la posibilidad de cortos circuitos, obstrucciones y puntos muertos.
- ✓ El consumo de potencia es bajo, puesto que el sistema no requiere ninguna agitación mecánica.
- ✓ La retención de biomasa es muy buena y por eso no es necesario reciclar el lodo.

2.5.2 DESVENTAJAS DEL REACTOR UASB

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

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

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

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

Otras desventajas de los reactores UASB, se listan a continuación:

- ✓ Largos períodos de arranque.
- ✓ Puede requerir la adición de algún ion específico o de alcalinidad.
- ✓ Puede requerir tratamientos posteriores para alcanzar la normatividad.
- ✓ No es posible la remoción de fósforo y nitrógeno.
- ✓ Son más sensibles a los efectos adversos de las bajas temperaturas en las tasas de reacción.
- ✓ Son susceptibles de perturbarse debido a sustancias tóxicas.
- ✓ Potencial producción de olores y gases corrosivos

2.5.3 PARÁMETROS DE SEGUIMIENTO EN UN REACTOR UASB

La operación del reactor está basada en el monitoreo de varios parámetros. Estos parámetros están relacionados ya sea con el agua residual, el lodo, el reactor, el contacto del agua residual con el lodo y la forma como esté distribuido en el interior del reactor. En esta parte se discutirán los parámetros más importantes los cuales son necesarios para la operación del sistema UASB.

2.5.3.1 Temperatura

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15°C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la

sedimentación, mientras que por encima de 15°C la biodegradación se incrementa. La temperatura afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad. Los ambientes anaeróbicos en relación con la temperatura pueden subdividirse en tres categorías: psicrófilico (0 a 20°C), mesófilico (20 a 40°C) y termófilico (45 a 65°C). Si el intervalo de temperatura en el reactor cambia, es necesario arrancar el reactor de nuevo. En el rango mesofílico, la actividad y el crecimiento de las bacterias disminuye a la mitad por cada 10°C de descenso por debajo de 35°C (Caicedo, 2006).

2.5.3.2 pH

La influencia del pH sobre la producción de metano está relacionada con la concentración de AGV. Los diferentes grupos bacterianos presentan niveles de actividad satisfactorios a pH próximos pero un poco diferentes; los hidrolíticos 14 entre 7,2 y 7,4 los acetogénicos entre 6,5 y 7,5. Las bacterias metanogénicas disminuyen su actividad si el pH aumenta por encima de 7,8. Cuando la capacidad metanogénica está continuamente sobrecargada y no se añade la base necesaria para neutralizar los AGV presentes, el sistema de tratamiento se convertirá en un reactor de acidificación, el pH de este efluente estará entre 4,5 y 5.

2.5.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno

por una población microbiana heterogénea, durante 5 días generalmente, a una temperatura de incubación de 20°C y en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Se utiliza para el cobro de la tasa retributiva. Medida en el afluente y efluente del reactor permite calcular la remoción del mismo.

2.5.3.4 Demanda química de oxígeno

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

2.5.3.5 Ácidos grasos volátiles

Son la mayoría de los productos intermedios de la digestión anaeróbica del material degradable a metano: ácidos acético, propiónico, butírico y valérico. Se mide en mg ácido acético/l. La concentración de AGV en el efluente debe ser muy baja y debe mantenerse en estos niveles ya que los incrementos de éstos por 15 encima de la capacidad buffer del sistema tienen un efecto inhibitorio de los compuestos intermedios que se produce en función de su grado de ionización. Los AGV son degradados por bacterias acetogénicas hasta ácido acético, que constituye el mayor sustrato de las bacterias metanogénicas.

2.5.3.6 Alcalinidad

Cuantifica la capacidad del agua residual de neutralizar ácidos. Se mide en mg de CaCO_3/L . Es debida principalmente a la presencia de iones bicarbonato, carbonato e hidroxilo. Se ha demostrado que cuando la relación entre AGV y la alcalinidad del medio supera 0,3-0,4 es indicador de fallo inminente en el sistema de digestión anaerobia.

2.5.3.7 Sólidos

La materia suspendida o disuelta que se encuentra en un agua residual recibe el nombre de sólidos. Se divide en tres categorías:

- ✓ Sólidos totales: sedimentables, suspendidos y disueltos.
- ✓ Sólidos suspendidos: porción retenida por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.
- ✓ Sólidos disueltos: porción que pasa por el papel filtro de 1,3 μm de tamaño de poro.

Estos a su vez se dividen en fijos (quedan después de la ignición de la muestra) y volátiles (pérdida de peso de la muestra durante la ignición). La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación de reactores biológicos, que junto con otros parámetros, proporciona información de la eficiencia de la remoción del proceso, e indirectamente, de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor. Los sólidos suspendidos volátiles (SSV) representan la porción orgánica de los sólidos suspendidos totales (SST); estos últimos representan el parámetro ambiental para el cobro de tasa retributiva (Caicedo, 2006).

2.6 EL BIOGÁS

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India que se transforman en líderes en la materia.

El biogás es un gas combustible que se puede obtener a partir de la biomasa, tal como son los desechos de humanos y de animales, residuos agrícolas, aceite de palma, plantas acuáticas y plantas de tratamiento anaerobio de agua residual.

Este gas puede ser utilizado, por ejemplo, como combustible para motores que mueven una bomba de agua, en alumbrado y en la cocción de alimentos.

El mecanismo predominante para la conversión de la biomasa en biogás es la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica que debe entenderse como un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente.

El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para

su producción y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación.

El biogás contiene aproximadamente un 60% de metano y 40% de dióxido de carbono; la pequeña cantidad de ácido sulfhídrico da al gas un olor de huevos podridos. El valor calorífico del biogás es 20 – 30 MJ de energía calorífica por m³ de gas. La siguiente tabla resume la composición química del biogás.

2.6.1 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL BIOGÁS

El biogás lo constituye una mezcla de gases combustibles como metano, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico, nitrógeno, hidrogeno y monóxido de carbono. Su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesa.

Tabla 2.2: Composición química de biogás

Componente	Fórmula	Porcentaje
Metano	CH ₄	40 - 70
Dióxido de carbono	CO ₂	30 - 60
Hidrógeno	H ₂	0,1
Nitrógeno	N ₂	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O ₂	0,1
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	0,1

Fuente: (Fry, 1975)

2.6.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL BIOGÁS

El biogás es incoloro, inodoro e insípido, pero los otros gases que contiene el biogás en especial el sulfuro de hidrogeno, dan a este un olor característico a podrido. La solubilidad del metano en agua es muy baja. A 20°C y 1 atm de presión, solamente tres unidades de metano (volumen) se pueden disolver en 100 unidades de agua. En la tabla 2.5 se describe las propiedades físicas del biogás existentes en la bibliografía (Fry, 1975).

El biogás se puede utilizar “crudo”, sin tratamiento alguno para casi todos los usos de combustión, en caldera o en estufas. Sin embargo, con la biotecnología moderna, es sencillo y económico proceder a la remoción de H₂S (hidrógeno sulfhídrico), componente tóxico y corrosivo que traumatiza a la mayor parte de los ingenieros y usuarios. El valor comercial del biogás depende del combustible sustituido.

Tabla 2.3: Propiedades físicas del biogás

Presión	: 8 – 18 cm H ₂ O
Presión crítica	: 42 atm
Poder calorífico	: 4 700 – 9 500 kcal/m ³
Gravedad específica	: 0,86
Velocidad de llama	: 40 cm/s
Grado de inflamación	: 6 – 12% V de aire
Temperatura de inflamación	: 600°C
Temperatura crítica	: - 82,5°C
Densidad	: 1,2 kg/m ³

Fuente: (Fry, 1975)

2.6.3 METANO

El metano (CH_4) es el hidrocarburo más simple, su molécula está formada por un átomo de carbono (C), al que se encuentran unidos cuatro átomos de hidrógeno (H), es un hidrocarburo, el primer miembro de la serie de los alcanos. Es más ligero que el aire, incoloro, inodoro e inflamable. Se encuentra en el gas natural (entre un 75% y un 90%).

A temperatura ambiente es un gas y se halla presente en la atmósfera.

El metano tiene aplicación en la industria química como materia prima para la elaboración de múltiples productos sintéticos. En los últimos años ha sido aplicado con buenos resultados, como fuente energética alternativa en pequeña escala, generándolo a partir de residuos orgánicos agrícolas.

Las principales fuentes productoras de metano son:

- ✓ Los procesos de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.
- ✓ La combustión (incendios) de biomasa en bosques tropicales y sabanas.
- ✓ La actividad microbiana en aguas residuales.
- ✓ Determinadas acumulaciones de hidrocarburos tales como campos de petróleo, gas y carbón lo emiten espontáneamente (fugas).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla: la ubicación geográfica de la investigación precisando la ubicación del reactor en coordenadas UTM, el período y lugar donde se realizó la investigación, universo y muestra, los criterios de diseño del reactor UASB, diseño y construcción del reactor UASB, instalación del reactor UASB, el plan de monitoreo, arranque y puesta en marcha del reactor UASB, la operación del reactor UASB, los parámetros evaluados, y los métodos de análisis de laboratorio.

El proceso de desarrollo experimental comprende los siguientes pasos:

- ✓ Caracterización fisicoquímica del agua residual.
- ✓ Diseño y construcción del reactor UASB, que contempla los cálculos para el diseño del reactor, selección del material a emplear para la construcción del reactor, construcción e instalación.
- ✓ Operación del reactor UASB, que contempla la selección de variables a evaluar, arranque, puesta en marcha y determinación de parámetros de operación.

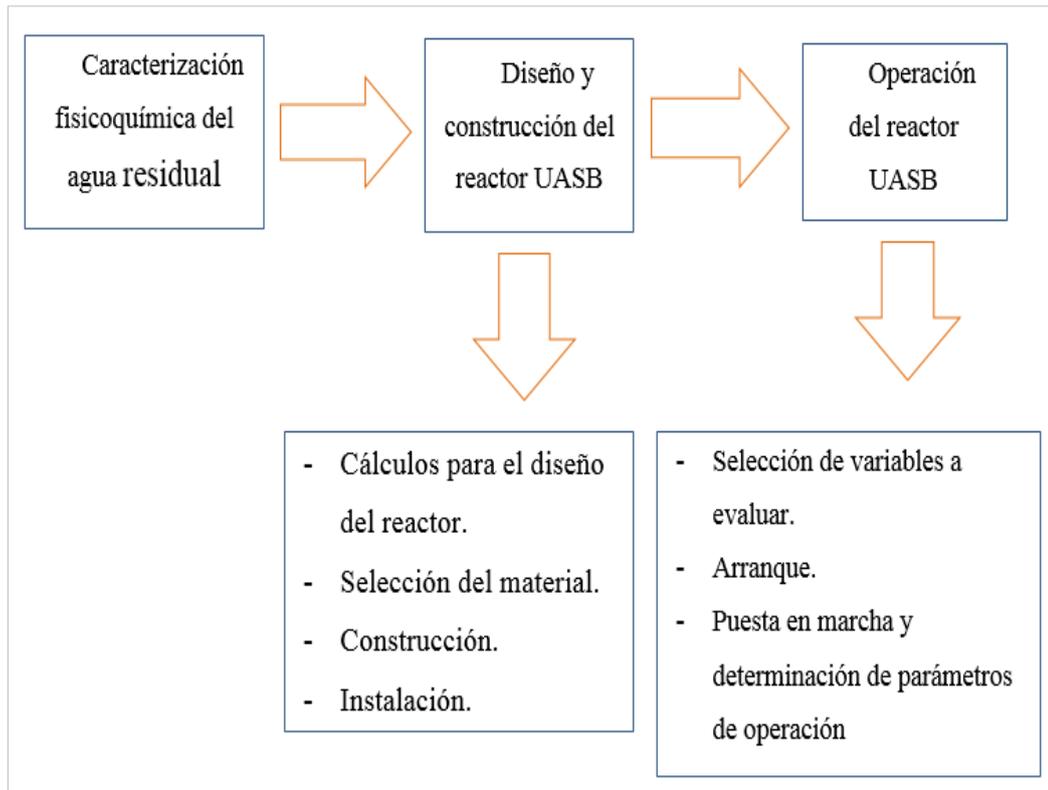


Figura 3.1: Estructura de desarrollo experimental de la investigación

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de tesis de investigación se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” del actual SEDA AYACUCHO, ubicada en el distrito de Jesús Nazareno, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

El montaje del reactor UASB a escala piloto, se realizó en el punto de coordenadas UTM 585 753,64 m E y 8 546 794,12 m N, en las inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales, entre los tanques Imhoff y las estructuras de secado de lodos.

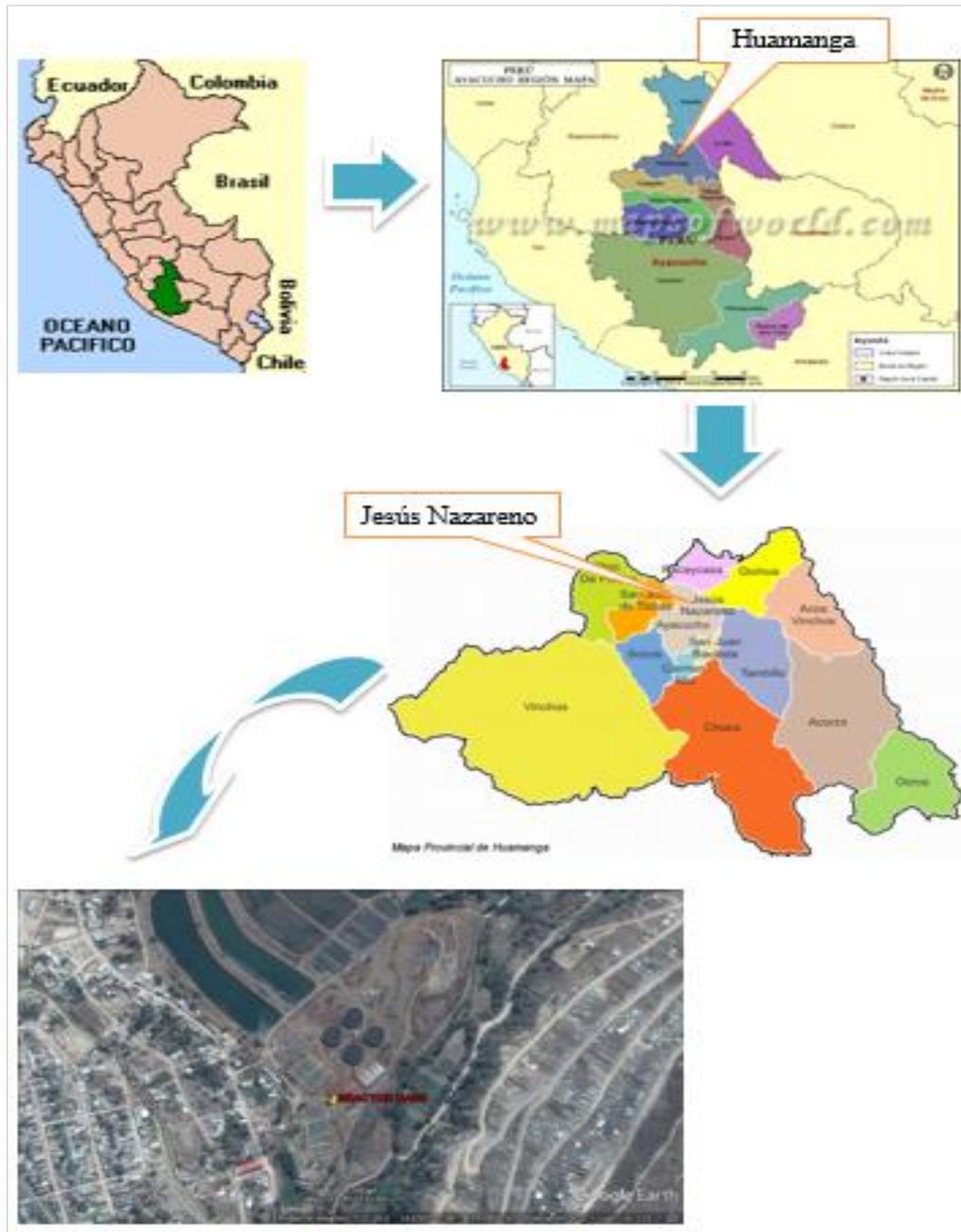


Figura 3.2: Ubicación geográfica del lugar de la investigación.

3.2 LUGAR Y PERIODO DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación fue realizado durante seis meses, dando inicio el mes de febrero de 2016 y culminando el mes de agosto de 2016.

En el mes de febrero se realizó el diseño, construcción e instalación del reactor UASB y los componentes que constituyen el sistema de tratamiento, realizando el arranque y puesta en marcha exactamente el día 20 de febrero del 2016 a horas 4:00 p.m. en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” de la actual de SEDA AYACUCHO, en la ciudad de Ayacucho.

El montaje del reactor UASB a escala piloto, se realizó en el punto de coordenadas UTM 585 753,64m E y 8 546 794,12m N, a una elevación geográfica de 2 633 m.s.n.m., en las inmediaciones de la PTAR, entre los tanques imhoff y las estructuras de secado de lodos, (figura 3.3).

La etapa de monitoreo y evaluación de los parámetros de operación de esta investigación se ha realizado a lo largo de 181 días calendario, con temperatura mínima de 7°C y máxima de 26 °C en el reactor, comprendidas en las estaciones de verano, otoño e invierno. El monitoreo de los parámetros de operación del reactor UASB, fue realizado en secuencias diarias, semanales, quincenales y mensuales, de acuerdo a los parámetros que se evaluaron.

La presente investigación se desarrolló en 4 etapas:

- Etapa de diseño, construcción e implementación del módulo.
- Etapa de arranque y puesta en operación del reactor UASB.
- Etapa de monitoreo y evaluación de los parámetros de operación.
- Etapa de procesamiento de información.

A continuación se muestra la figura 3.3, correspondiente a la ubicación de la instalación del reactor donde una de las figuras fue captada de google earth.



Figura 3.3: Ubicación de la instalación del reactor UASB.

3.3 MUESTRA Y UNIVERSO

El agua residual utilizada en la investigación se captó de la caja de distribución de la PTAR “La Totorá”, previo al ingreso a los tanques imhoff, con un caudal promedio de 30 ml/s en flujo continuo, cuyo detalle de la instalación se describe más adelante, en el ítem de las instalaciones del reactor UASB. La caja de distribución se ubica post a los tratamientos preliminares del AR.

El agua residual que ingresa a la PTAR “La Totorá”, pasa por un tratamiento preliminar conformado por rejas gruesas de acero con 30° de inclinación y separación entre barras de 25 mm para retener sólidos gruesos, dos rejillas mecanizada escalonada, de rejas finas de acero dispuestas en paralelo, con inclinación de 56° y separación entre rejas de 6 mm, dos desarenadores de flujo horizontal, sección rectangular y con tolva de sección trapezoidal para la acumulación de arenas, los cuales trabajan alternadamente. Esta unidad tiene por finalidad separar el material inorgánico por sedimentación a través de una velocidad controlada de 0,20 m/s.

El agua del desarenador pasa a una caja de distribución (punto de captación de la investigación), desde este punto se distribuye el AR hacia los seis tanques imhoff que operan en paralelo como tratamiento primario, en las cuales se combinan los procesos de sedimentación y la digestión anaerobia de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se les llama tanques de doble cámara (de digestión y sedimentación).

Luego el agua pasa por un tratamiento secundario, cuatro filtros percoladores que operan en paralelo, y dos lagunas facultativas. Los filtros percoladores están formados por un lecho de medio filtrante sobre el que se distribuye continuamente el agua residual, al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual. La materia orgánica presente en el agua residual se degrada por la acción de la población de microorganismos aerobios adheridos al medio. Las dos lagunas facultativas operan en paralelo a los filtros percoladores, estas remueven la

mayoría de la fracción remanente de la DBO_5 soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas, teniendo casi la misma operación y mantenimiento que una laguna facultativa primaria.

Posteriormente, pasa a un tratamiento terciario, comprendido por tres lagunas de maduración. Estas lagunas reciben el efluente de las lagunas facultativas y de los filtros percoladores. Su función principal es la eliminación de microorganismos patógenos y promover un efluente de alta calidad.

Finalmente, pasa por un proceso de desinfección por medio de cloro líquido, para la eliminación de los remanentes de los microorganismos patógenos, finalizando el proceso con el vertimiento al río Alameda como cuerpo receptor.

3.4 CRITERIOS DE DISEÑO DEL REACTOR UASB

El tratamiento de las aguas residuales en reactores UASB es conveniente para el tratamiento de una amplia gama de diversos tipos de aguas residuales, por ejemplo, las industriales (de altas concentraciones) y las aguas de origen doméstico (de mucha menor concentración). Siendo el diseño y la construcción específicas del reactor.

3.4.1 CAUDAL DE DISEÑO Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

El reactor UASB se ha diseñado tomando como criterio de diseño un tiempo de retención hidráulico de 9 horas, para temperaturas en un rango $18^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$, (Van

Haandel & Lettinga, 1994), para tratar un caudal de 23 ml/min hasta 137 ml/min con la finalidad de evaluar las variables de operación en un rango de TRH de 24 horas hasta 4 horas respectivamente.

3.5 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR UASB

3.5.1 FORMA DEL REACTOR

El reactor UASB se construyó de forma cilíndrica, se tomó este criterio en función a la disponibilidad del material en el mercado local con la que se trabajó, tubería PVC SAL de 6 pulgadas. Si bien es cierto, un reactor UASB puede tener la forma cilíndrica o rectangular, sin embargo la de forma cilíndrica tiene obvias ventajas hidrodinámicas, como por ejemplo, la menor posibilidad de formación de zonas muertas y mayor resistencia a la presión interna.

3.5.2 DISEÑO DEL REACTOR

El diseño del reactor UASB se realizó en función al método descrito como cálculo basado en la carga orgánica y en el criterio de velocidad de flujo.

Para la determinación de la velocidad de flujo ascendente como uno de los parámetros de diseño se dio inicio de variables conocidas tales como: área y volumen del reactor a partir del diámetro y la altura efectiva, carga típica máxima de diseño como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Parámetros de diseño del reactor UASB

Parámetros de diseño			
Diámetro de la tubería (cm)	Caudal mínimo (ml/min)	Carga (kgDQO/m³*d)	Tiempo de residencia (d)
15,24	23	0,6	0,4

3.5.2.1 Área transversal del reactor

Material con la que se va a construir el reactor es tubo PVC SAL de 6 pulgadas, por lo tanto el área transversal es conocida.

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

$$A_R = 3,1416 \frac{(15,24 \text{ cm})^2}{4} = 182,42 \text{ cm}^2$$

De modo que el radio del reactor es:

$$A_R = 182,42 \text{ cm}^2 = \pi R_R^2$$

$$R_R = \sqrt{\frac{182,42 \text{ cm}^2}{3,1416}} = 7,62 \text{ cm}$$

3.5.2.2 Altura del reactor

Conociendo el área transversal del reactor, se puede determinar la altura del reactor considerando como velocidad ascensional 0,2 metros por hora y un tiempo de residencia óptima de 9 horas (Lettinga, 1997), así:

$$H_R = 0,2 \frac{m}{h} * 9h$$

$$H_R = 1,80 m$$

3.5.2.3 Volumen del reactor

$$V_R = A_R * H_R$$

$$V_R = 182,42 \text{ cm}^2 * 1,80 m$$

$$V_R = 32,84 L$$

3.5.2.4 Flujo másico

$$F = V_R * \text{carga}$$

$$F = 32\ 837,4 \text{ cm}^3 * 0,6 \frac{\text{kgDQO}}{\text{m}^3 * d}$$

$$F = 0,0197 \frac{\text{kgDQO}}{d}$$

3.5.2.5 Carga hidráulica

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

$$C_H = \frac{60,81 \text{ cm}^3 / \text{min}}{182,42 \text{ cm}^2}$$

$$C_H = 0,33 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$$

$$C_H = 0,20 \frac{m}{h}$$

La carga hidráulica no debe exceder 1m/h, bajo este parámetro se puede incrementar la carga orgánica.

3.5.2.6 Velocidad de flujo en la campana

$$v_F = 4(C_H) = 4\left(0,2\frac{m}{h}\right) = 0,8\frac{m}{h}$$

$$v_F = 4\left(0,2\frac{m}{h}\right)$$

$$v_F = 0,8\frac{m}{h}$$

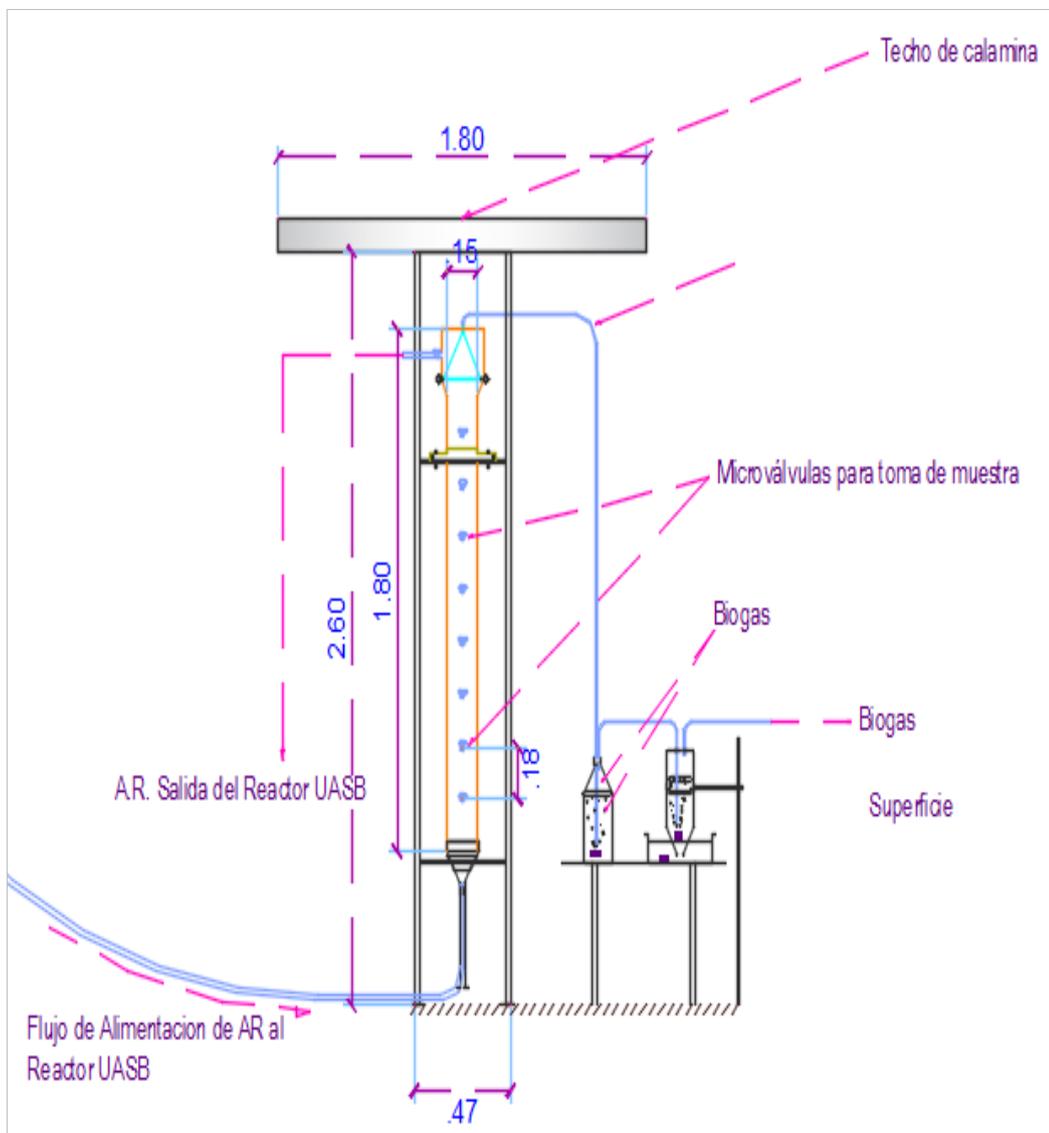


Figura 3.4: Diseño de reactor UASB

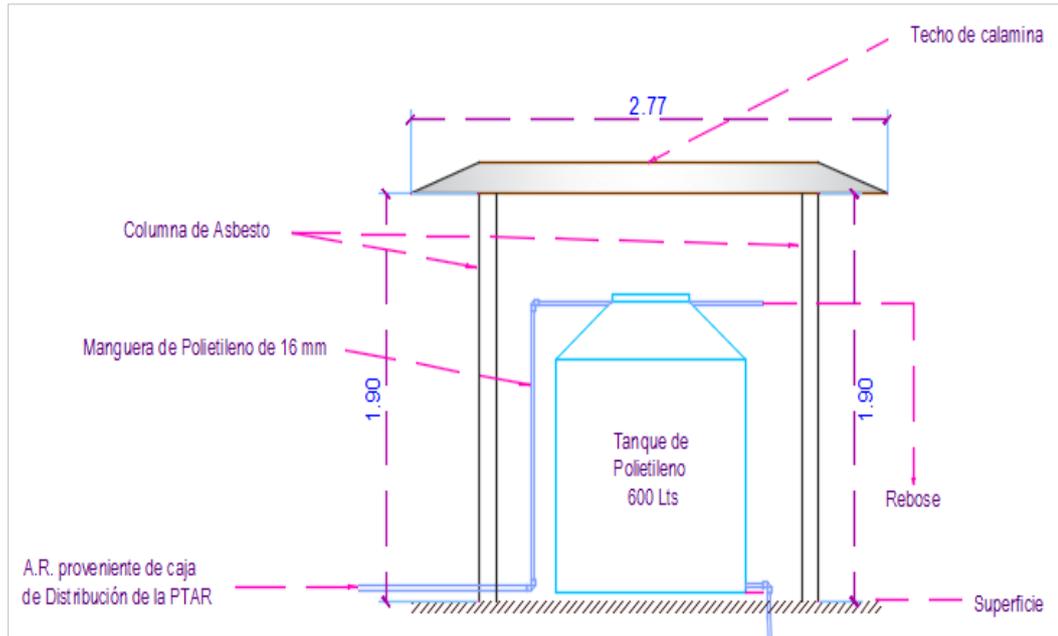


Figura 3.5: Diseño de tanque de almacenamiento de agua residual

3.5.2.7 Separador gas – sólido – líquido

Se debe tomar en cuenta que la campana o separador GLS, conforma una de las partes más importantes y críticas en el proceso de diseño de un reactor UASB. Un buen diseño garantiza un buen funcionamiento del reactor, mantiene un lodo sedimentable compuesto generalmente por lodo granular, efluente clarificado libre de gases, y los gases separados.

En resumen, la implementación del separador GLS en el reactor UASB, tiene como objetivo los siguientes:

- ✓ Separación y descargas adecuadas del biogás en el reactor.
- ✓ Sirve de barrera (stopper) para expansiones excesivas rápidas del manto de lodos.

- ✓ Prevenir el lavado de lodo granular flotante y floculento a la salida del reactor.

Los parámetros recomendados por la literatura para la construcción del separador GSL, indican que la campana convencional es la mejor estructura por su fácil construcción, simplicidad de instalación y funcionamiento, y eficiencia.

Se debe tener en cuenta siempre en el diseño del separador GLS, aspectos tales como:

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

Parámetros básicos de diseño:

3.5.2.8 Área de abertura

$$A_{ABERTURA} = \frac{Q}{v_F}$$

$$A_{ABERTURA} = \frac{60,81 \frac{cm^3}{min}}{0,8 \frac{m}{h}} = \frac{60,81 \frac{cm^3}{min}}{0,8 \frac{m}{h} * \frac{100 cm}{1 m} * \frac{1h}{60 min}} = 45,61 cm^2$$

3.5.2.9 Área de sección transversal de campana

$$A_C = A_R - A_{ABERTURA}$$

$$A_C = 182,42 \text{ cm}^2 - 45,61 \text{ cm}^2 = 136,81 \text{ cm}^2$$

$$A_C = 136,81 \text{ cm}^2 = \pi R_C^2$$

$$R_C = \sqrt{\frac{136,81 \text{ cm}^2}{3,1416}} = 6,60 \text{ cm}$$

Dónde: R_C = Radio mayor de la campana.

3.5.2.10 Ancho de abertura

$$W_A = R_R - R_C$$

$$W_A = 7,62 \text{ cm} - 6,60 \text{ cm} = 1,02 \text{ cm}$$

Se asume 2 Cm, tanto para el ancho mínimo interno de la campana W_T y la altura tope del separador GLS (H_T) sobre la superficie del líquido.

$$W_G = R_R - W_A - 0,5(W_T)$$

$$W_G = 7,62 \text{ cm} - 1,02 \text{ cm} - 0,5(2)$$

$$W_G = 5,6 \text{ cm}$$

3.5.2.11 Angulo de inclinación de campana

La literatura recomienda asumir 60° debido a que se acomoda mejor a las condiciones de diseño, tanto de la campana como de la tubería.

3.5.2.12 Altura de campana

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

$$H_G = 5,6 * \tan 60^\circ = 9,7 \text{ cm}$$

3.5.2.13 Traslapo

$$T_V = 1,5 * W_A$$

$$T_V = 1,5 * 1,02 \text{ cm} = 0,48 \text{ cm}$$

3.5.2.14 Ancho de deflectores

$$W_D = T_V + W_A$$

$$W_D = 0,48 \text{ cm} + 1,02 \text{ cm} = 1,5 \text{ cm}$$

3.5.2.15 Longitud de deflectores

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

$$L_D = 2(1,5 \text{ cm}) \tan 45^\circ$$

$$L_D = 3 \text{ cm}$$

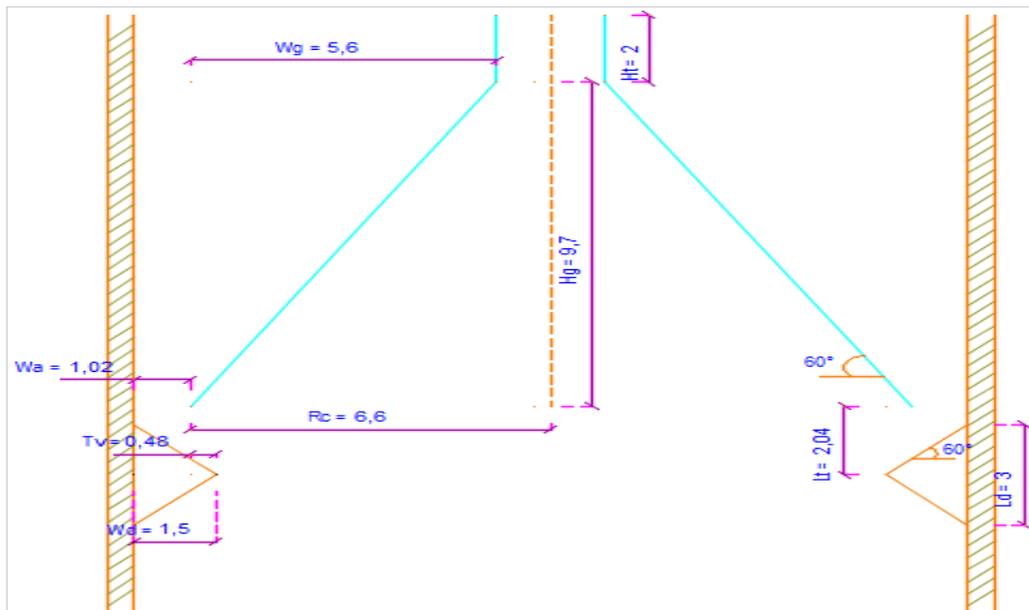


Figura 3.6: Diseño de campana o separador gas líquido sólido

3.5.3 CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO

El módulo de soporte del reactor UASB, se ha construído en el taller electromecánico “Holger K. Hansen” de la facultad de ingeniería química y metalurgia de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. El material empleado es de acero galvanizado de 1 pulgada, con una altura de 2,60 metros, vista en planta tiene la forma triangular con 47 centímetros de lado, compuesta de techo de calamina para evitar daños al reactor causados por las lluvias.



Figura 3.7: Construcción de módulo del reactor

3.5.4 CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR UASB

Para la construcción del reactor UASB, previamente se ha seleccionado el tipo y la geometría del material con la que se va a trabajar, de acuerdo a la disponibilidad y costo de dicho material en el mercado local. De modo que, se ha construido de un tubo PVC SAL de 6 pulgadas de diámetro, con una altura de 1,80 metros, compuesto de la siguiente manera:

- ✓ Se ha instalado nueve válvulas de polietileno, de 20 mm de diámetro, distribuidos a 18 centímetros a lo largo del reactor, como puntos de muestreo del agua residual, principalmente para la determinación del comportamiento de los sólidos del sistema.
- ✓ La base del reactor se ha construido de plancha de acero, que tiene la forma de un cono invertido, el cual va apoyado a una estructura metálica del módulo, al cual se ha rellenado con grava o canutillo de cerámica, con la finalidad de que el agua que ingresa pueda distribuirse y ascender uniformemente en el reactor.
- ✓ El separador GSL, se ha instalado con un embudo invertido de 13,2 cm de diámetro, en la parte superior del reactor aprovechando el uso de una reducción invertida de 8" a 6", de tal forma que permita reunir el biogás que asciende del fondo del reactor. La campana extractora está conectado a una manguera venocllisis, para la salida del biogás producido (figura 3.7).

Si bien es cierto, los reactores UASB, se pueden construir de forma rectangular o cilíndrica. En nuestro caso se ha seleccionado la cilíndrica por la disponibilidad del

material de construcción en el mercado local, además por la ventaja de que los reactores de forma cilíndrica evitan zonas muertas en los ángulos del reactor.



Figura 3.8: Construcción del reactor UASB

3.6 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

La captación del agua residual para la alimentación al reactor, se realizó de la caja de distribución de la PTAR, situado antes de los tanques imhoff, aprovechando la diferencia de altura en relación al lugar de almacenamiento. Para evitar el ingreso de las partículas gruesas del agua residual, se ha empleado una canastilla de PVC

de 2 pulgadas de diámetro, con orificios de 3 mm de diámetro, conectada a una manguera de riego de 16 mm de diámetro para la conducción.



Figura 3.9: Instalación del sistema de captación

3.7 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCCIÓN

El agua residual captada se conduce al tanque de almacenamiento mediante una manguera de riego de 16 mm de diámetro por acción de la gravedad, en una longitud de 100 metros lineales desde la caja de distribución al tanque de almacenamiento.



Figura 3.10: Instalación del sistema de conducción

3.8 INSTALACIÓN DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento del AR se realizó en un tanque de polietileno de 600 litros de capacidad, que tiene como función garantizar el flujo continuo de alimentación al reactor UASB. Previo a la entrada del tanque existe una malla metálica fina de un milímetro de diámetro, a fin de retener las partículas pasantes por la canastilla de captación.



Figura 3.11: Instalación de tanque de almacenamiento

3.9 INSTALACIÓN DEL REACTOR UASB

Para la instalación del reactor, previamente se ha instalado una estructura metálica, con un pedestal ubicado a 50 cm del nivel del suelo, sobre el cual va anclado el reactor como se observa en la figura 3.12.

La estructura metálica o módulo del reactor, se ha construido de rectángulo de una pulgada de acero galvanizado que tiene una geometría triangular (vista en planta),

con una altura de 2,60 metros, provistas con techo de calamina a fin de evitar deterioros por la acción meteorológica.

Además, se ha construido una plataforma a base de concreto de 1 m², donde se ha instalado el modulo, fijadas con tornillos sobre el concreto para garantizar su estabilidad, como se observa en la figura 3.12.



Figura 3.12: Instalación del modulo

Una vez instalado el módulo, se procedió con la instalación del reactor UASB piloto, a una altura de 50 cm sobre la superficie del concreto, que va apoyado sobre un pedestal de acero debidamente nivelado, figura 3.13.



Figura 3.13: Instalación del reactor UASB

A la entrada del reactor UASB, se ha instalado un punto de muestreo, provistas por tres válvulas, las mismas que se empleó para la toma de muestras del agua residual de alimentación; y a la vez, para regular el caudal de alimentación, como se aprecia en la figura 3.14.

El tipo de material de las válvulas empleadas son de polietileno de 16 milímetros de diámetro, que normalmente son empleados en riego tecnificado.



Figura 3.14: Instalación de válvulas de muestreo del afluente del reactor UASB

Por la parte superior del reactor se ha instalado el sistema de recuperación del gas, conectando una manguera venocllisis al extremo superior de la campana de extracción del gas y el otro extremo de la manguera está sumergido en una solución de hidróxido de sodio al 10% en un frasco de vidrio, en donde la corriente de gas es burbujeado con la finalidad de atrapar otros gases principalmente el CO_2 . El gas que sale del frasco de la solución de hidróxido de sodio es burbujeado en agua contenida en otro frasco, para finalmente obtener un gas con mayor pureza de metano, como se aprecia en la figura 3.15.



Figura 3.15: Instalación del sistema de recuperación del biogás

Finalmente, se realizó el pintado del reactor, empleando esmalte sintético color aluminio metálico en spray, quedando el reactor tal y como se aprecia en la siguiente imagen.



Figura 3.16: Pintado del reactor

3.10 PLAN DE MONITOREO

Hace referencia del programa de monitoreo, de la frecuencia del monitoreo y los equipos y procedimientos para la toma de muestras.

3.10.1 PROGRAMA DE MONITOREO

El monitoreo del caudal, se realizó empleando la técnica del aforo, con frecuencia de dos veces al día, por las mañanas entre las 07:00 a.m. – 08:00 a.m., y por las tardes entre las 05:00 p.m. – 06:00 p.m., con la finalidad de mantener constante el flujo de alimentación, el mismo que se realizó por gravedad donde se advierte magnitudes de caída de presión a diario.

Las pruebas físico químicas de temperatura, pH, turbiedad, se realizó con una frecuencia de una vez por día. Las otras pruebas fisicoquímicas como conductividad, salinidad, sólidos totales disueltos, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, y las pruebas microbiológicas como los coliformes termotolerantes, se realizaron con frecuencia de una vez por semana. Sin embargo, algunos otros parámetros no se monitorearon en vista de no contar con la disponibilidad de reactivos, equipos y laboratorio.

Estos análisis se dieron inicio a la semana de la fecha de arranque del reactor, ya que la acción biológica del sistema fue de inmediato debido a que se empleó un inóculo con alta carga bacteriana.

3.10.2 PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo se definieron priorizando su importancia y estuvieron limitados por el presupuesto durante el desarrollo de la investigación. A continuación el plano de los puntos de muestreo del reactor, figura 3.17

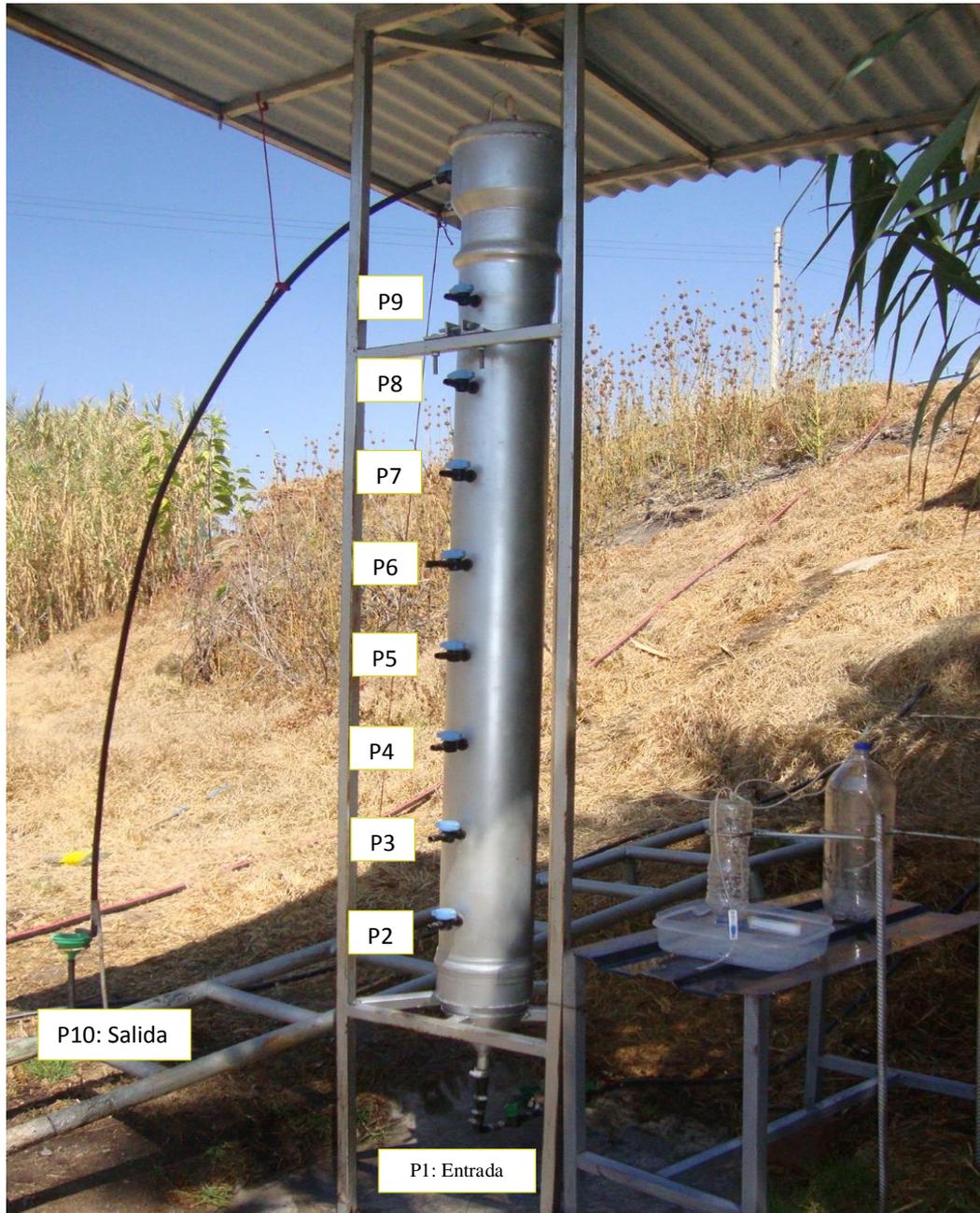


Figura 3.17: Selección de puntos de muestreo del reactor

3.10.2.1 Afluente del reactor UASB

El monitoreo de la calidad del agua residual en este punto nos describe el estado y las características del agua residual antes de iniciar el tratamiento en el reactor UASB, nos proporciona una línea de base para la determinación de la eficiencia del sistema. Proviene del tanque de almacenamiento que previamente es cargada de manera continua desde la captación (caja de distribución) a un caudal promedio de 400 mililitros por minuto. El agua es captada de la caja de distribución de la PTAR paralelo a los afluentes de los tanques imhoff, que previamente pasó por un tratamiento preliminar compuesta por cámara de rejillas, luego pasa por las rejillas escalonadas de 6 mm de limpieza automática y posteriormente pasa por los desarenadores.

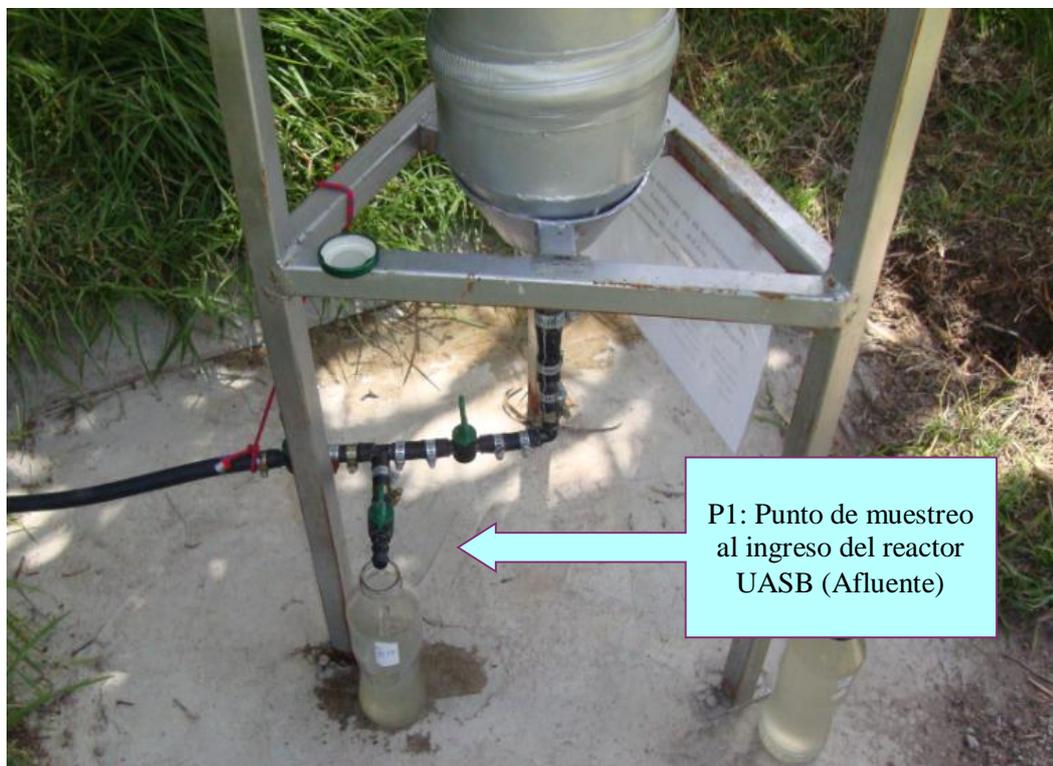


Figura 3.18: Punto de muestreo del afluente

3.10.2.2 Puntos de muestreo del reactor

Para el monitoreo a través del reactor, se cuenta con ocho válvulas como puntos de muestreo distribuidos ascendentemente una sobre otra, con un distanciamiento de 18 centímetros entre válvulas, en toda la longitud del reactor. Esta distribución permite un muestreo correcto a fin de determinar el perfil de los sólidos en el reactor, y algunos parámetros fisicoquímicos como datos de control.



Figura 8: Puntos de muestreo del reactor

3.10.2.3 Efluente del reactor UASB

El muestreo y monitoreo en este punto nos da a conocer la calidad del agua residual que sale del reactor. Permite determina la eficiencia del tratamiento del agua residual del reactor UASB, en relación a la calidad del agua residual a la entrada

del mismo. El muestreo se ha tomado en el extremo de la manguera que conecta del rebose del reactor provista por una micro válvula para su control del flujo.



Figura 3.20: Punto de muestreo del efluente

3.10.3 MONITOREO Y PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS

Para la toma de muestras se emplearon botellas de vidrio de 500 mililitros, previamente lavadas y esterilizadas en el equipo autoclave, dotados con tapa para ofrecer la hermeticidad del frasco a fin de conservar constante la calidad de la muestra. La toma de muestras se realizó manualmente a través de las válvulas de los puntos de muestreo, debidamente rotulados para identificar la correspondencia de la muestra y se llevaron inmediatamente al laboratorio de la PTAR para realizar los análisis respectivos.



Figura 3.21: Frascos de muestreos

3.11 ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DEL REACTOR UASB

El procedimiento se inicia con la captación del agua residual en la caja de distribución, post a las unidades de tratamiento preliminar y previo al ingreso de los tanques imhoff de la PTAR. Esta agua fue conducida continuamente por medio de una manguera de riego de 16 milímetros hasta el tanque de polietileno de 600 litros para su almacenamiento y garantizar la carga necesaria para la alimentación al reactor UASB por acción de la gravedad.

El arranque del reactor UASB, se inició mediante la inoculación de un lodo anaeróbico digerido en un volumen de 10 litros, proveniente de la PTAR del centro de investigación de tratamiento de aguas residuales – CITRAR de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), con la

finalidad de acelerar la puesta en funcionamiento y el tiempo de estabilización del proceso.



Figura 9: Proceso de inoculación de lodo en el reactor

A la salida del tanque de almacenamiento se abrió la válvula de salida para conducir el agua residual hasta el reactor UASB. En la parte inferior, a la entrada del reactor, existe una tee provistas de tres válvulas donde se ha regulado en 23 ml/min el caudal de arranque al ingreso reactor empleando un cronometro y una probeta, que a la vez es considerada como un punto de muestreo, figura 3.23.

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

Día de arranque : 20 de febrero de 2 017

Hora : 04:00 pm

Caudal : 23 ml/min

TRH : 24 h

T° (AR) : 21°C

DBO5 : 246 mg/l

DQO : 314 mg/l

C. Termotolerantes : $3,5 \cdot 10^6$

El agua residual que ingresa por la parte inferior del reactor, recorre ascendentemente a través del manto de lodo donde la carga orgánica es removida por acción de la flora bacteriana.

Continúa su recorrido ascendentemente por toda la columna hasta llegar al punto de rebose, denominada también punto de salida o efluente del reactor UASB. El efluente es conducido mediante una manguera de polietileno de 16 milímetros de diámetro en una distancia de 2,5 metros hasta el punto de muestreo, para finalmente ser vertido en un buzón que reúne los lixiviados de los lodos en los lechos secado y continuar su proceso de tratamiento secundario en la PTAR.



Figura 3.23: Válvulas de regulación de caudal y toma de muestras

3.12 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR UASB

Durante la operación del reactor se prestó especial atención a la regulación del caudal de alimentación, procedimiento que se ha realizado dos veces al día, una por

la mañana 07:00 am y otra por la tarde 06:00 pm (figura 3.24). Si bien, inicialmente se ha venido regulando el caudal de ingreso en el P1 a través de las válvulas que lo componen, esta se ha rectificado, considerando el P10, salida del reactor, como punto de aforo para la regulación del caudal de ingreso al reactor, procedimiento que se ha considerado con la finalidad de obtener mayor exactitud en el aforo, ya que al regular el caudal en el P1, se cae en error debido a que el flujo de alimentación experimenta pérdida de carga a lo largo de su recorrido a través del manto de lodos y toda la columna del reactor.



Figura 3.24: Punto de aforo de regulación de caudal de alimentación

En cierto modo, el reactor se ha diseñado y construido para un caudal de 61 ml/min con TRH de 9 horas. Sin embargo, la regulación del caudal de tratamiento durante la evaluación del sistema, se ha realizado desde 23 ml/min hasta 274 ml/min, para TRH desde 24 horas hasta 2 horas respectivamente.

Procedimiento para regular el caudal de alimentación:

La regulación del caudal de alimentación se ha determinado dos veces al día, una por la mañana y otra por la tarde. En este caso, se hizo haciendo uso de las válvulas provistas en la parte posterior del reactor, donde se tomaba el volumen del agua residual en el punto de salida del reactor (P10), en una probeta durante 30 segundos. El resultado de dividir el volumen sobre el tiempo, nos da a conocer el caudal en ese instante.



Figura 3.25: Extracción e incineración del biogás

El biogás producido en el reactor, se captura en la campana de extracción al interior del reactor, desde aquí se conduce mediante una manguera venoclisis para hacer burbujear en una solución de hidróxido de sodio al 10%, y posteriormente en agua.

El gas acumulado en la parte superior al interior del frasco, se extrae empleando una jeringa de 50 ml, controlando a través de la llave venoclisis, finalizando el proceso con el quemado del gas.

En cuanto al mantenimiento, se dio mayor importancia al tanque de almacenamiento, procedimiento que se realizó una vez por semana, generalmente los días sábados y/o domingos, puesto que esos días no se tenía acceso a los laboratorios, por lo tanto no se podía realizar ningún análisis de ningún parámetro. El mantenimiento del tanque de almacenamiento comprendió en eliminar todo el lodo del interior del tanque y evitar la fermentación acida del agua residual, a la vez nos garantiza que la calidad y composición del agua residual permanezca inalterable.

Este procedimiento se basa en cerrar la llave que controla el flujo hacia el reactor y descargar completamente el contenido del tanque de almacenamiento, desechando en el buzón de lixiviados del lecho de secado de lodos. Una vez desechado se enjuagó con agua limpia para eliminar los remanentes y luego se cargó el tanque con agua residual hasta el punto de rebose, seguidamente se alimentó el AR al reactor regulando el caudal de alimentación a las condiciones de trabajo.



Figura 10: Mantenimiento de tanque de almacenamiento

De modo similar, se realizó el mantenimiento de la canastilla del sistema de captación de AR, con una frecuencia de dos veces al día, por las mañanas y por las tardes aprovechando el horario para la regulación del caudal de alimentación al reactor. En este caso, se retira el sistema de captación, compuesto de tubería PVC SAP de ½ pulgada que va empotrado a una canastilla de 2 pulgadas, para retirar los residuos sólidos que se acumularon sobre ella, en la caja de distribución. Una vez realizado la limpieza de la canastilla, se conecta nuevamente en la caja de distribución y se procede a cargar agua del grifo, para sifonear el AR aprovechando la diferencia de altura.



Figura 3.27: Mantenimiento del sistema de captación

3.13 MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Los análisis de las variables de operación se realizaron en los laboratorios de SEDA AYACUCHO, tanto en el laboratorio de la PTAR “La Totorá”, como en la PTAP “Quicapata”.

Los métodos, técnicas y/o protocolos empleados corresponden a los mismos de las unidades de control de calidad de SEDA AYACUCHO.

3.13.1 TEMPERATURA

Tabla 3.2: Determinación de temperatura

Método	: Instrumental
Plan de muestreo	: Semanal
Instrumento	: Termómetro
Materiales	: Vaso de prueba, papel tisú

TÉCNICA

- ✓ Antes de tomar las muestras, dejar fluir por un instante con el objetivo de descargar el agua estancado en la válvula (purga).
- ✓ Tomar la muestra llenando en una probeta.
- ✓ De manera cuidadosa introducir el termómetro dentro del frasco.
- ✓ Realizar la lectura y anotar la temperatura que indica el termómetro.



Figura 3.28: Determinación de temperatura.

3.13.2 pH

Tabla 3.3: Determinación de pH

Método	: Potenciométrico
Plan de muestreo	: Semanal
Instrumento	: pH-metro digital HANNA modelo HI 2216 pH/ORP/ISE/ Meter
Materiales	: Vaso de prueba, papel tisú



Figura 3.29: Determinación de pH

TÉCNICA

- ✓ Encender el equipo.
- ✓ Enjuagar el electrodo con agua destilada.
- ✓ Calibrar con solución buffer de pH diferentes en función de la temperatura de trabajo.
- ✓ Introducir el electrodo en la muestra a analizar, una vez se estabilice el puntero anotar lo registrado.
- ✓ Terminada la lectura se procede a apagar el equipo.

3.13.3 TURBIEDAD

Tabla 3.4: Determinación de turbiedad

Método	: Nefelométrico
Plan de muestreo	: Semanal
Instrumento	: Turbidímetro digital
Materiales	: Vaso de prueba, papel tisú

TÉCNICA

- ✓ Encender el equipo, con sumo cuidado.
- ✓ Enjuagar la capsula de aproximadamente 10 ml de capacidad.
- ✓ Calibrar con los patrones de turbidez ya sea 10 NTU ó 100 NTU.
- ✓ Introducir la muestra a analizar en la capsula.
- ✓ Colocar la capsula conteniendo la muestra en un pequeño compartimiento del turbidímetro.
- ✓ Registrar la lectura en NTU.



Figura 3.30: Determinación de turbiedad

3.13.4 COLOR

Tabla 3.5: Determinación de color

Método	: Comparación de discos - platino cobalto
Plan de muestreo	: Semanal
Instrumento	: Comparador de color modelo CO-1-HACH
Materiales	: Vaso de prueba, papel tisú

TÉCNICA

- ✓ En una de las celdas correspondiente al lado izquierdo del equipo se coloca agua destilada, y en la otra la muestra a analizar.
- ✓ Se compara los colores de las celdas, haciendo girar el disco hasta encontrar, en el campo visual, colores similares.
- ✓ Se anota directamente la cifra en unidades de color UC.

3.13.5 CONDUCTIVIDAD, SALINIDAD Y STD

Tabla 3.6: Determinación de conductividad, salinidad y solidos totales disueltos

Método	: Instrumental
Plan de muestreo	: Semanal
Instrumento	: Conductímetro HACH Sension5
Materiales	: Vaso de prueba, papel tisú

TÉCNICA

- ✓ Encender el equipo.

- ✓ Enjuagar el electrodo con agua destilada.
- ✓ Poner el equipo en la opción deseada, presionando el botón correspondiente (COND,SAL, TDS)
- ✓ Introducir en la muestra el electrodo del conductímetro y realizar la lectura correspondiente.



Figura 3.31: Determinación de conductividad, salinidad y STD

3.13.6 ACIDEZ

Tabla 3.7: Determinación de acidez

Método	: Volumétrico
Plan de muestreo	: Semanal
Materiales	: Matraz erlenmeyer, bureta, pipetas
Reactivos	: Solución NaOH 1/44 N, fenolftaleína

TÉCNICA

- ✓ Se toma una muestra de 50 ml.
- ✓ Se adiciona 3 gotas de indicador d fenolftaleína. Si la rosa toma un color rosa no hay acidez.
- ✓ Se titula con hidróxido de sodio, NaOH 1/44N hasta que la solución vire a rosado.
- ✓ El consumo de hidróxido de sodio se multiplica por el factor 20. El resultado es la acidez expresada en ppm de CO₂.

$$\text{Acidez (ppm CO}_2\text{)} = V_{\text{NaOH}} * f \ V_{\text{NaOH}} * 20$$



Figura 3.32: Determinación de acidez

3.13.7 ALCALINIDAD

Tabla 3.8: Determinación de alcalinidad

Método	: Volumétrico
Plan de muestreo	: Semanal
Materiales	: Matraz Erlenmeyer, pipeta, bureta, propipeta
Reactivos	: Solución H ₂ SO ₄ 0,02N, indicador fenolftaleína y anaranjado de metilo.

TÉCNICA

- ✓ Medir 50 ml de muestra.
- ✓ Agregar 3 gotas de fenolftaleína, si las muestras cambian de color tornándose rosado se tiene presente carbonatos e hidróxidos. Se titula con el ácido sulfúrico 0,02N hasta la decoloración. Anotar el volumen gastado del ácido como alcalinidad “P”.
- ✓ Si con las gotas de fenolftaleína no cambian de coloración, contienen bicarbonatos o ácidos, en este caso se agrega 3 gotas de anaranjado de metilo.
- ✓ Se titula nuevamente con el ácido hasta que el color amarillo se torne a anaranjado. Anotar el ácido consumido como alcalinidad “M”.
- ✓ La alcalinidad total se determina en ppm de CaCO₃, multiplicado por el consumo total del ácido (P+M) por el factor correspondiente, en este caso por 20.



Figura 3.33: Determinación de alcalinidad

Tabla 3.9: Factores para la determinación de alcalinidad

Vol. Muestra (ml)	Ámbito de alcalinidad ppm CaCO₃	Factor
100	0 - 250	10
50	251 - 500	20
25	501 - 1 000	40

Fuente: Unidad de control de calidad SEDA AYACUCHO

$$\text{Alcalinidad} = A * N * 50 \text{ 000/ml muestra}$$

Donde:

A: Gasto H₂SO₄ en ml.

N: Normalidad de H₂SO₄

Zona de viraje de pH:

✓ Fenolftaleína: 8,2 – 10,0

✓ Anaranjado de metilo: 3,0 – 4,4

3.13.8 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Tabla 3.10: Determinación de demanda bioquímica de oxígeno

Método	: Manométrico
Plan de muestreo	: Semanal
	: Incubadora, agitador magnético, medidor de oxígeno
Instrumento	disuelto.
Materiales	: Probeta de 500 ml, espátula.
Reactivos	: NaOH(s)

TÉCNICA

- ✓ Se tomó volúmenes de muestra (400 y 250) ml, estos volúmenes dependen de la escala a utilizarse con el sensor (90 y 250 mg/l), respectivamente. Esto está sujeto a la cantidad de materia orgánica con la que cuenta la muestra (para

sensores de tipo velp científico) y volumen de 365 ml (para sensores de tipo oxitop).

- ✓ Se coloca las muestras en los frascos color caramelo.
- ✓ Se coloca las magnetos dentro de los frascos.
- ✓ Se coloca sobre el pico de las botellas, capuchas de material plástico conteniendo dos grajeas de NaOH.
- ✓ Se coloca y ajusta los sensores sobre el pico de la botella
- ✓ Se programa los sensores a la escala deseada.
- ✓ Se incuba los frascos a 20°C y en agitación.
- ✓ Lectura después de 5 días de incubación, se reporta oxígeno en mg/l.



Figura 3.34: Determinación de demanda bioquímica de oxígeno

3.13.9 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Tabla 3.11: Determinación de demanda química de oxígeno

Método	: Digestión por reactor
Plan de muestreo	: Semanal
Instrumento	: Reactor DRB 200, espectrofotómetro 6320D
Materiales	: Vasos de precipitado, pipeta de 10 ml, fiola de 25 ml, rejilla, papel tisú, bulbo de seguridad para llenar pipeta, Viales con reactivo de digestión para DQO rango alto
Reactivos	(Dicromato de potasio), Agua desionizada.

TÉCNICA

- ✓ Se homogeniza la muestra en un vaso de precipitado con una bagueta.
- ✓ Se encendió el reactor DRB 200 y se precalentó a 150 ° C.
- ✓ Se quitó la tapa de un vial de reactivo de digestión.
- ✓ Se vertían 2 ml de muestra homogenizada en el vial.
- ✓ Se volvía a colocar firmemente el tapón del vial.
- ✓ Se limpiaba el exterior del vial de DQO con agua desionizada y se secaba el frasco limpio con papel tisú.
- ✓ Se invertía el frasco sosteniéndolo por la tapa varias veces para mezclar el contenido.
- ✓ Se colocaba el vial en el reactor 200 DRB precalentado.
- ✓ Se prepara un blanco repitiendo los pasos anteriores, sustituyendo 2 ml de muestra por agua desionizada.

- ✓ Se calentaban los frascos durante 2 horas en el reactor 200 DRB.
- ✓ Se ejecutaba un blanco con cada conjunto de muestras cuidando que sean del mismo número de lote.
- ✓ Se apagaba el reactor después de las dos horas y se esperaban 20 minutos para que los frascos se enfríen.
- ✓ Luego se invertían los frascos 7 veces mientras todavía estaban calientes.
- ✓ Se colocaban los frascos en una rejilla y se esperaba hasta que los frascos se enfríen a temperatura ambiente.

Para la medición de la DQO se usó la siguiente técnica analítica:

DQO rango alto (20 – 1 500 mg/l): Programa #17: Para solución estándar de hasta 1 000 mg/l de DQO representativos del reactivo con el instrumento con desviación estándar de 16 mg/l.

Disponer los viales usados de modo adecuado, pues contienen mercurio y son tóxicos.

Principio de la metodología:

Los resultados en mg/l de DQO se definen como los miligramos de oxígeno consumido por litro de muestra bajo las condiciones de este procedimiento. En el mismo, la muestra se calienta dos horas con un agente oxidante potente, dicromato de potasio. Los compuestos orgánicos oxidables reaccionan, reduciendo el ion de dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ a un ion crómico verde (Cr^{+3}). Cuando se utiliza el método colorimétrico o titulométrico de 3 – 150 mg/l, se determina la cantidad de Cr^{+6}

remanente. Cuando se usa el método colorimétrico de 20-1 500 mg/l, se determina la cantidad de Cr^{+3} producido. El reactivo DQO también contiene iones de plata y de mercurio. La plata es un catalizador y el mercurio se utiliza para formar complejos de las interferencias de cloruro.



Figura 3.35: Determinación de demanda química de oxígeno

3.13.10 SÓLIDOS

3.13.10.1 Sólidos totales

Tabla 3.12: Determinación de solidos totales

Método	: Gravimétrico
Plan de muestreo	: Mensual
Instrumento	: Mufla eléctrica, balanza electrónica, desecador.
Materiales	: Crisoles, probeta de 50 ml, pinza

TÉCNICA

Se pesa una cápsula. Se tomaba 50 ml de muestra y se vierte en la cápsula. Se coloca la cápsula que contiene a la muestra en el horno eléctrico mantenido a 103-105°C y se evaporaba la muestra a sequedad. Se dejaba enfriar la cápsula en el desecador aproximadamente 15 minutos y haciendo uso de la balanza electrónica se pesaba el residuo.

Para el cálculo del peso de sólidos en la muestra:

$$\text{Sólidos Totales (g)} = (\text{cápsula} + \text{residuo})(g) - \text{cápsula vacía (g)}$$

Para la conversión a la concentración de sólidos totales en la muestra:

$$\text{Sólidos Totales (mg/l)} = \frac{1\,000 * \text{Sólidos totales}}{50}$$

Principio de la metodología: El secado de la muestra mediante este procedimiento permite eliminar las moléculas de agua de la muestra líquida y dejar el residuo sólido para determinar su peso en la muestra y luego proyectar en unidades de concentración de mg/l.

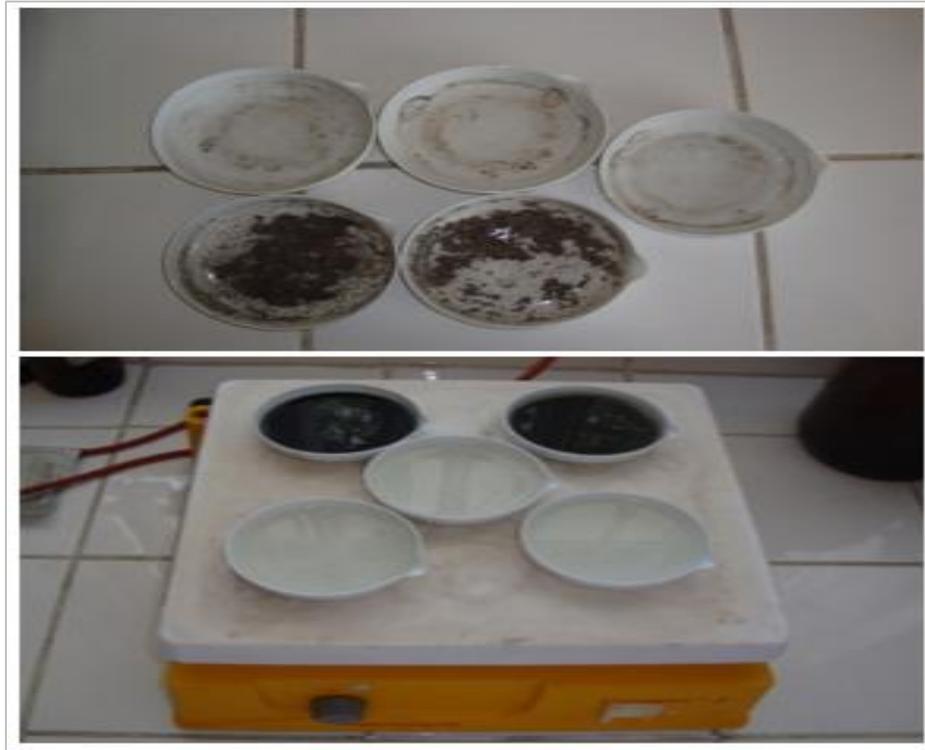


Figura 3.36: Determinación de sólidos totales



Figura 3.37: Determinación de sólidos volátiles totales

3.13.10.2 Sólidos disueltos

TÉCNICA

Se pesa un crisol. Se filtra 50 ml de muestra con papel Whatman 40. Se coloca el líquido filtrado en el crisol y se lleva a horno eléctrico a 180°C por una hora. Se enfría la muestra en el desecador por 15 minutos. Se pesaba nuevamente el crisol con el residuo de la muestra filtrada en la balanza electrónica. Para el cálculo del peso de sólidos disueltos en la muestra:

$$\text{Sólidos Disueltos (g)} = (\text{capsula} + \text{residuo})(g) - \text{capsula vacia (g)}$$

Para la conversión a la concentración de sólidos totales disueltos (STD) en la muestra:

$$\text{Sólidos totales disueltos (mg/l)} = \frac{1\ 000 * \text{Sólidos disueltos}}{50}$$

Principio de la metodología: Al ser filtrada la muestra en el papel Whatman 40, quedan retenidas las partículas en suspensión (sólidos suspendidos) de diámetro mayor a 2 micras permitiendo el paso de los sólidos disueltos. Al calentar esta muestra a 180°C se evapora el contenido de humedad de la misma quedando la fracción sólida.



Figura 3.38: Muestras en desecador

3.13.10.3 Sólidos suspendidos

TÉCNICA

- ✓ El contenido de sólidos suspendidos totales se obtiene por la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos:
- ✓ Sólidos suspendidos totales (A) = Sólidos totales (A) - Sólidos disueltos (A)
- ✓ Luego se hace la conversión a concentración de sólidos suspendidos totales en la muestra en mg/l:
- ✓ $SST (mg/l) = 1\ 000 \times \text{Sólidos suspendidos totales (A)}/50.$



Figura 3.39: Determinación de sólidos suspendidos

3.13.11 ECOLIFORMES TERMOTOLERANTES

Tabla 3.13: Determinación de coliformes termotolerantes

Método	: Tubos múltiples de fermentación
Plan de muestreo	: Mensual, para cada TRH
Equipos	: Autoclave, Estufa, destilador de agua : Tubos de ensayo (5 por cada dilución), pipetas de 10 ml, frascos para preparar la dilución, campanas de durham,
Materiales	algodón, guantes de látex.
Reactivos	: Medio de cultivo A1, Agua peptonada.

TÉCNICA

- ✓ Disponer tubos de ensayo y el medio de cultivo A1 en cantidad requerida para el ensayo, 5 tubos para cada serie de diluciones.
- ✓ A cada tubo de ensayo se agrega 10 ml. de medio A1 y una campana de durham.
- ✓ Para que la campana de durham contenga interiormente al medio A1, se invierte el tubo de ensayo con sumo cuidado, tapando con un dedo la boca del tubo de ensayo (se debe utilizar guantes de látex), de modo que no quede aire atrapada dentro de la campana de durham.
- ✓ Poner una capucha de algodón a cada tubo de ensayo y esterilizar en autoclave.
- ✓ Realizar las diluciones calculadas de la muestra, en agua peptonada (preparada con agua destilada), de modo que la concentración en cada dilución se reduzca al 10% del anterior.
- ✓ Con 1 pipeta estéril sembrar un inóculo de 1ml a 5 tubos de ensayo (c/u conteniendo 1 campana de durham y 10 ml. de medio A1 estéril) para cada serie de dilución.
- ✓ La siembra para cada dilución se debe realizar con una nueva pipeta estéril, hasta la dilución preparada.
- ✓ Incubar a todos los tubos inoculados a 44,5°C durante 24 horas.
- ✓ Proceder con la lectura, considerando como resultado positivo para coliformes fecales, todos los tubos con formación de gas dentro de la campana de Durham.
- ✓ Con los datos obtenidos en la lectura, calcular en la tabla NMP para combinaciones de resultados positivos obtenidos con 5 tubos.

Reporte del resultado:

- ✓ NMP de coliformes fecales o termotolerantes/100 ml.
- ✓ Valor de referencia:
- ✓ LMP para los efluentes de PTAR domesticas o municipales: 104 NMP de
- ✓ coliformes fecales o termotolerantes/100 ml.



Figura 3.40: Determinación de coliformes fecales o termotolerantes

Conociendo el número de cultivos (tubos) con acumulación de gas en la prueba de los coliformes, se puede calcular el número más probable de coliformes por 100 ml o 100 g de material analizado utilizando la tabla 3.14.

La tabla 3.14 considera el empleo de 10, 1,0 y 0,1 ml de material analizado. Si se emplean como inóculo otras cantidades, los valores de NMP deducidos de la tabla deben multiplicarse por el número adecuado, para considerar la cantidad real de material introducido en los tubos, así como para obtener el NMP por g (o ml) de material en lugar de por 100 ml (g), que aparece en la tabla.

Tabla 3.14: Tabla de NMP y límites de confianza para diversas combinaciones de resultados positivos obtenidos con cinco tubos.

Combinaciones de tubos positivos 10ml, 1ml, 0,1ml	NMP/100ml	Límite de confianza de 95%	
		Límite inferior	Límite superior
0-0-0	<2	-	-
0-0-1	2	1	10
0-1-0	2	1	10
0-2-0	4	1	13
1-0-0	2	1	11
1-0-1	4	1	15
1-1-0	4	1	15
1-1-1	6	2	18

Continuación de la tabla 3.14

Combinaciones de tubos positivos 10ml, 1ml, 0,1ml	NMP/100ml	Límite de confianza de 95%	
		Límite inferior	Límite superior
1-2-1	6	2	18
2-0-0	4	1	17
2-0-1	7	2	20
2-1-0	7	2	21
2-1-1	9	3	24
2-2-0	9	3	25
2-3-0	12	5	29
3-0-0	8	3	24
3-0-1	11	4	29
3-1-0	11	4	29
3-1-1	14	6	35
3-2-0	14	6	35
3-2-1	17	7	40
4-0-0	13	5	38
4-0-1	17	5	45
4-1-0	17	5	46
4-1-1	21	9	55
4-1-2	26	12	63
4-2-0	22	9	56

Continuación de la tabla 3.14

Combinaciones de tubos positivos 10ml, 1ml, 0,1ml	NMP/100ml	Límite de confianza de 95%	
		Límite inferior	Límite superior
5-2-1	70	30	210
5-2-2	90	40	250
5-3-0	80	30	250
5-3-1	110	40	300
5-0-0	23	9	86
5-0-1	30	10	110
5-0-2	40	20	140
5-1-0	30	10	120
5-1-1	50	20	150
5-1-2	60	30	180
5-2-0	50	20	170
4-2-1	26	12	65
4-3-0	27	12	67
4-3-1	33	15	77
4-4-0	34	16	80
5-3-2	140	60	360
5-3-3	170	80	410
5-4-0	130	50	390
5-4-1	170	70	480

Continuación de la tabla 3.14

Combinaciones de tubos positivos 10ml, 1ml, 0,1ml	NMP/100ml	Límite de confianza de 95%	
		Límite inferior	Límite superior
5-4-2	220	100	580
5-4-3	280	120	690
5-4-4	350	160	820
5-5-0	240	100	940
5-5-1	300	100	1 300
5-5-2	500	200	2 000
5-5-3	900	300	2 900
5-5-4	1 600	600	5 300
5-5-5	>1 600	-	-

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater 1 985

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante los 193 días de monitoreo del reactor UASB en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” de Ayacucho y los resultados de la evaluación de los parámetros de operación del sistema y su respectiva eficiencia en el tratamiento del agua residual.

En el Anexo N° 5, se muestra la tabla de los resultados de cada parámetro evaluado y la eficiencia alcanzada durante el periodo de evaluación.

4.1 CAUDAL Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO

La operación del sistema se inició con el caudal de arranque (23 ml/min), para un tiempo de residencia hidráulico de 24 horas durante cuatro semanas hasta alcanzar la estabilidad en cuanto a la capacidad de remoción de materia orgánica del agua residual. Una vez alcanzada la estabilidad bajo las condiciones iniciales, se ha ido incrementando el caudal progresivamente, mediante la técnica del aforo, hasta alcanzar los 137 ml/min para un tiempo de residencia hidráulico de 4 horas.

En la figura 4.1, se puede apreciar la variación del incremento del caudal durante el periodo de evaluación del sistema a medida que el sistema alcance la estabilidad de remoción.

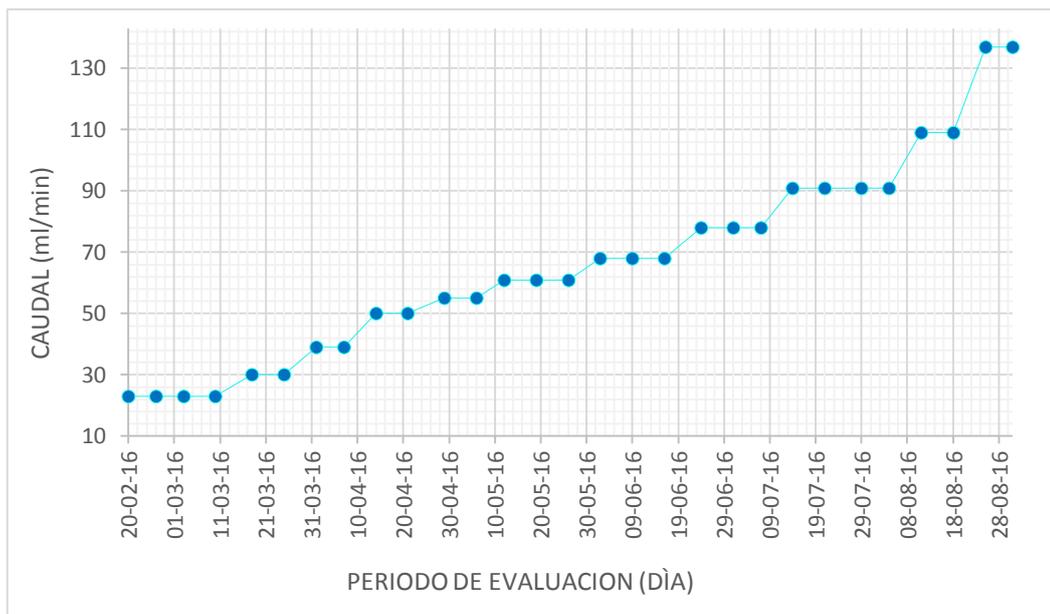


Figura 4.1: Comportamiento del caudal

De la misma forma, en la figura 4.2, se observa que a medida que el caudal aumenta, disminuye el tiempo de retención hidráulico (TRH) con el tiempo, cuyas variaciones es inversamente proporcional al caudal.



Figura 4.2: Comportamiento del tiempo de retención hidráulico (TRH)

4.2 COMPORTAMIENTO DE TEMPERATURA

Para el monitoreo de la temperatura se ha considerado tres puntos de muestreo, cuya distribución de los puntos de muestreo se ha plasmado en la figura 3.17: P1 ingreso al reactor; P8 en el reactor; P10 salida del reactor.

En los tres puntos de muestreo, la temperatura disminuye gradualmente durante el tiempo de la evaluación con ligeras oscilaciones, fenómeno que es representativo a las variaciones estacionales entre el verano en que se inició el experimento y el invierno en el que se culminó.

La temperatura en el reactor, experimenta un incremento promedio de $4,9^{\circ}\text{C}$, producto de las reacciones biológicas, durante el periodo de evaluación en relación a las temperaturas a la entrada y salida del reactor.

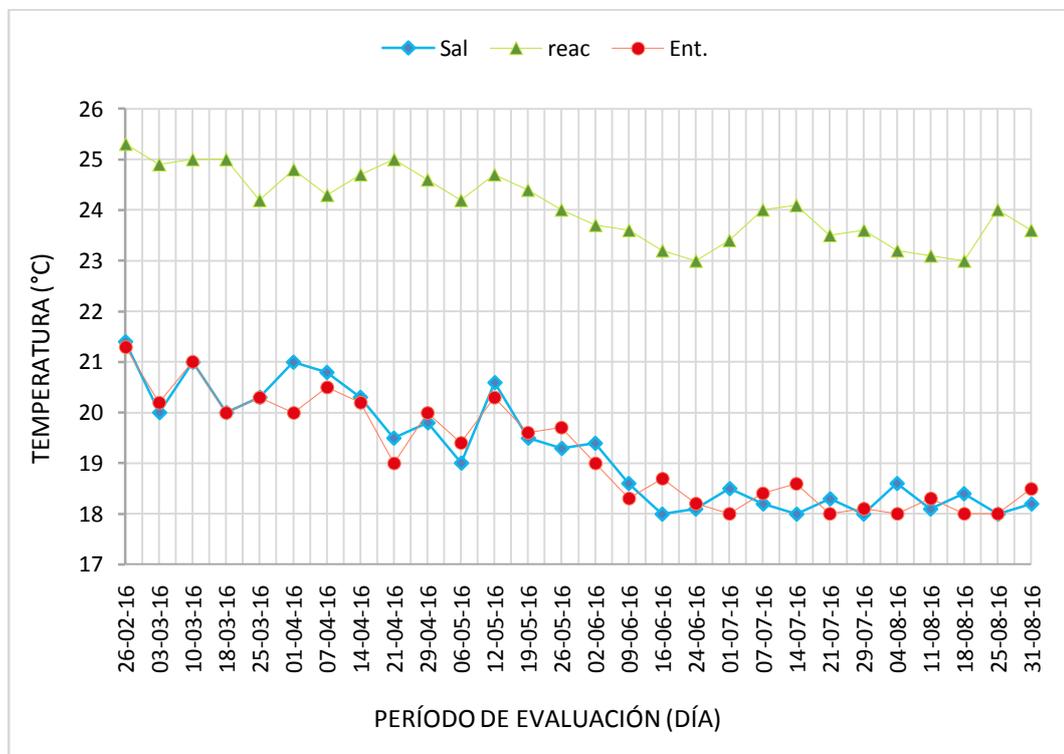


Figura 4.3: Comportamiento de la temperatura

En la figura 4.3 podemos observar que la temperatura a lo largo del periodo de operación del sistema osciló entre 18°C y 21,3°C con un valor promedio de 19,2°C en la entrada al reactor, y a la salida osciló entre 18°C y 21,4°C con un valor promedio de 19,2°C. Entre ambos puntos, no se registraron grandes variaciones de temperatura; mientras que en el mismo reactor experimenta un incremento oscilando entre 23°C y 25,3°C con un valor promedio de 24,1°C.

Además de determinar la variación de temperatura durante el periodo de evaluación, se ha determinado el perfil o variación de temperatura durante el día, con una frecuencia de una vez por mes (figura 4.4).

La temperatura en el reactor durante el día, experimenta una variación representada por una curva del gráfico, en la que se determinó que alcanza máximas temperaturas entre las 12:00 y 04:00 de la tarde en un rango de 22°C a 26°C. Mientras que sufre caída de temperatura entre las 03:00 y 06:00 de la mañana, en un rango de 7°C a 14°C.

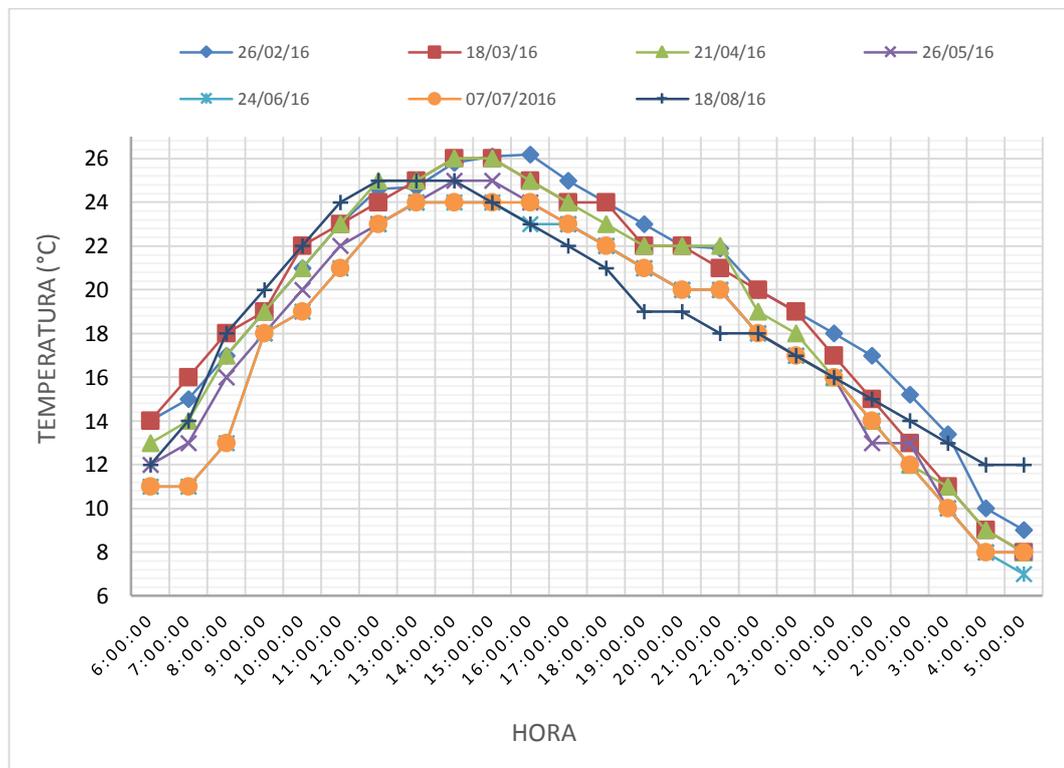


Figura 4.4: Perfil de la temperatura durante el día

4.3 COMPORTAMIENTO DE pH

Los valores del pH fluctúan en un rango de 6,11 a 7,86 en el punto de la entrada al reactor, con una ligera disminución durante el periodo de la investigación, que puede ser debido a la mayor concentración de oxígeno disuelto del agua residual (figura 4.5).

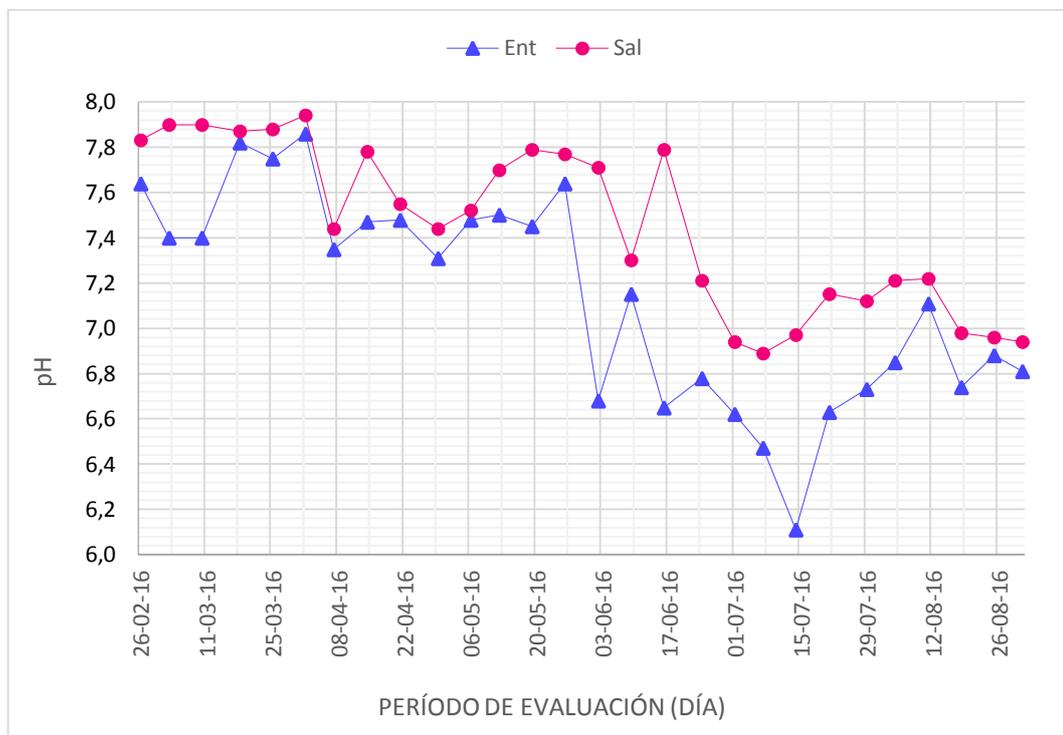


Figura 4.5: Comportamiento de pH

En el punto de monitoreo a la salida del reactor, los valores del pH fluctúan en un rango de 6,89 a 7,94. Se observa que en el reactor aumenta el pH por acción de la actividad biológica, el cual es un indicador que el sistema está operando correctamente (figura 4.5).

4.4 COMPORTAMIENTO DE TURBIEDAD

La turbiedad se ha monitoreado en tres puntos: en el punto de captación del agua residual (caja de distribución de la PTAR), en la entrada y salida del reactor. En la figura 4,6 indica que los valores de turbiedad en el punto de captación fluctúan en el rango de 180 a 245 NTU con un promedio de 113 NTU. En el P1 a la entrada del reactor, se ha determinado valores de turbiedad que oscilan en el rango de 39 a 99 NTU con un promedio de 45 NTU. En el P10 a la salida del reactor los valores fluctúan en el rango de 34 a 55 NTU con un promedio de 45 NTU, lo que indica que hay buena remoción de la turbiedad.

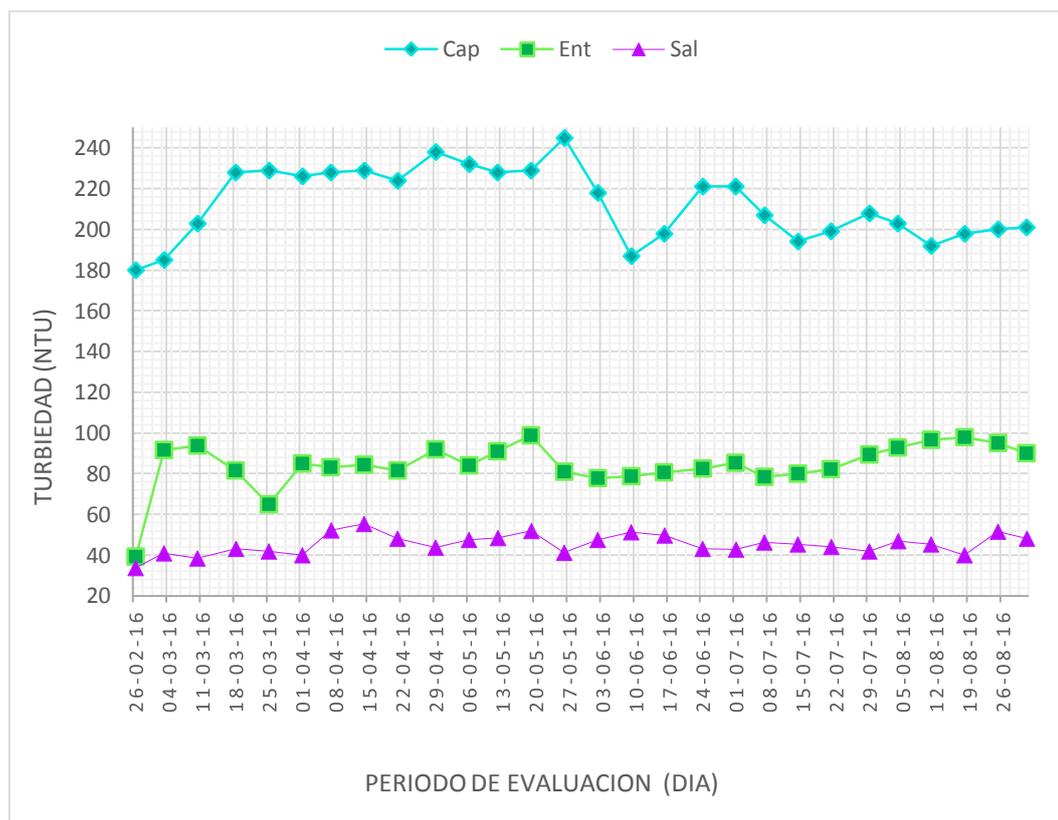


Figura 4.6: Comportamiento de la turbiedad

El porcentaje de remoción de la turbiedad en relación a los valores de la salida y entrada del reactor alcanzó un máximo de 59%, mínimo de 14% y un promedio de 45% (figura 4.7).

En cambio, la tasa de remoción de la turbiedad es mucho más alta en relación a los resultados del punto de captación y salida del reactor, alcanzando un máximo de 83%, mínimo de 73% y un promedio de 79%.

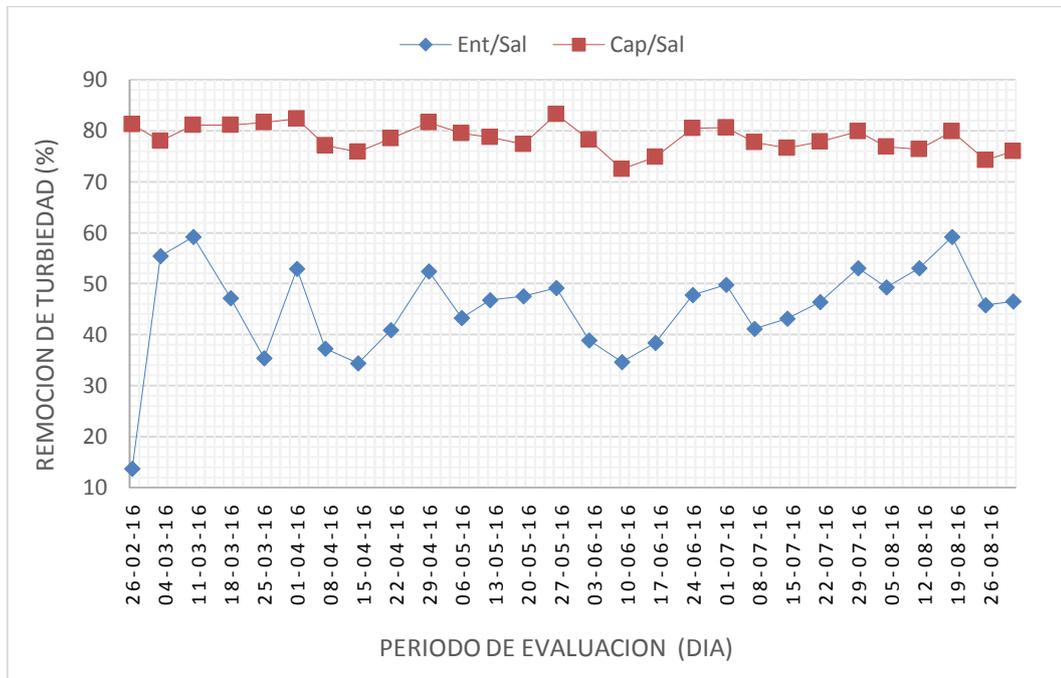


Figura 4.7: Remoción de la turbiedad

4.5 COMPORTAMIENTO DE DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

El monitoreo de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se realizó en tres puntos: P1, afluente; P10, efluente de reactor; Cap; captación (figura 3.17).

Podemos observar que la concentración de la DBO₅ del afluente del reactor, como

resultado del monitoreo, oscilo entre 130 mg/l y 234 mg/l, con un promedio de 205 mg/l.

Los resultados del monitoreo de la DBO₅, del efluente del rector oscilo entre 60,3 mg/l y 89,8 mg/l, y un promedio de 69,6 mg/l.

Adicionalmente se monitoreo la DBO₅ de la captación del agua residual, cuyos resultados oscilan entre 129 mg/l y 216 mg/l, y con un promedio de 197,8 mg/l.

Se puede observar que la concentración promedio de DBO₅ en la entrada al reactor (afluente) es de 205 mg/l, que mediante el paso por el reactor disminuye a la salida (efluente) a una concentración promedio de 69,6 mg/l de DBO₅, alcanzando una remoción promedio de 66% de DBO₅.

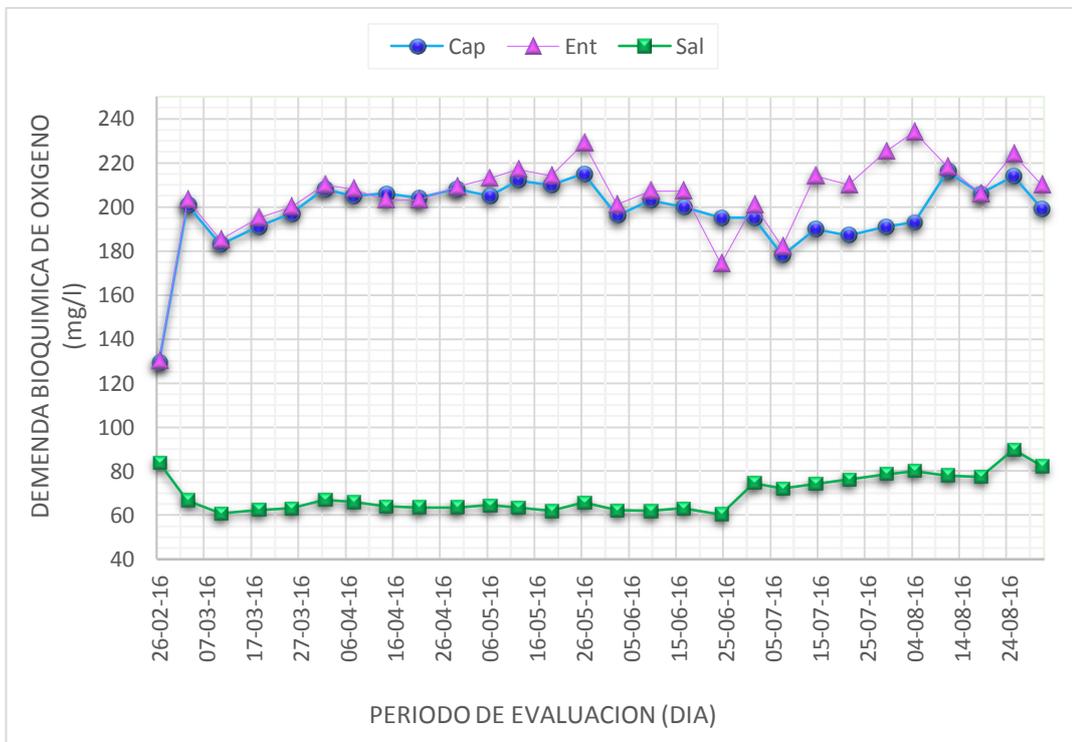


Figura 4.8: Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

En la figura 4.9, se observa que la remoción de la DBO₅ en el reactor UASB alcanza un valor máximo de 71% para un TRH de 9 horas.

El reactor ha alcanzado estabilizar rápidamente en 15 días, por la acción del inóculo, que fue incrementando el porcentaje de remoción a medida que disminuye en TRH, hasta alcanzar la máxima remoción, luego descendió ligeramente hasta 61% para un TRH de 4 horas.

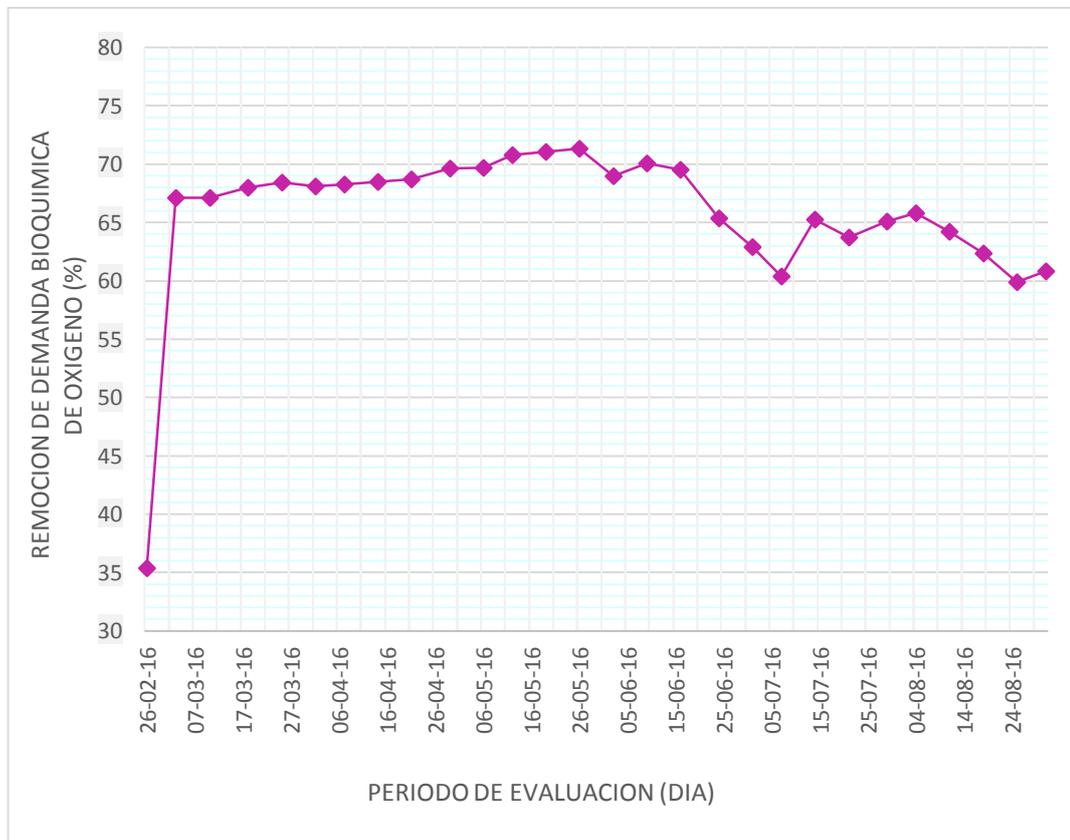


Figura 4.9: Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

4.6 COMPORTAMIENTO DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

En la figura 4.10 la demanda química de oxígeno (DQO) total registrada en los puntos de monitoreo durante el tiempo de operación del reactor UASB, se observa que el reactor ha alcanzado la estabilidad a poco tiempo del arranque, precisamente a los 15 días de la puesta en marcha.

Cabe aclarar que el monitoreo de la demanda química de oxígeno se inició desde el día 51 del arranque del reactor, ya que hasta la fecha no se disponía de los equipos y reactivos necesarios. A partir de entonces, los valores de DQO en el efluente oscilaron entre un mínimo de 302 mg/l, y un máximo de 490 mg/l, y un promedio de 402,4 mg/l.

Como base de referencia se monitoreo en el afluente del reactor, cuyos resultados oscilaron entre un mínimo de 424,6 mg/l, un máximo de 931,7 mg/l, y un promedio de 644,1 mg/l.

A la vez se ha monitoreado la demanda química de oxígeno en la captación, muestra proveniente del efluente de los desarenadores de la planta de tratamiento de aguas residuales “la Totorá” como dato de referencia, cuyos resultados oscilaron desde un mínimo de 987 mg/l, y un máximo de 1 345,9 mg/l, y un promedio de 1 137,5 mg/l.

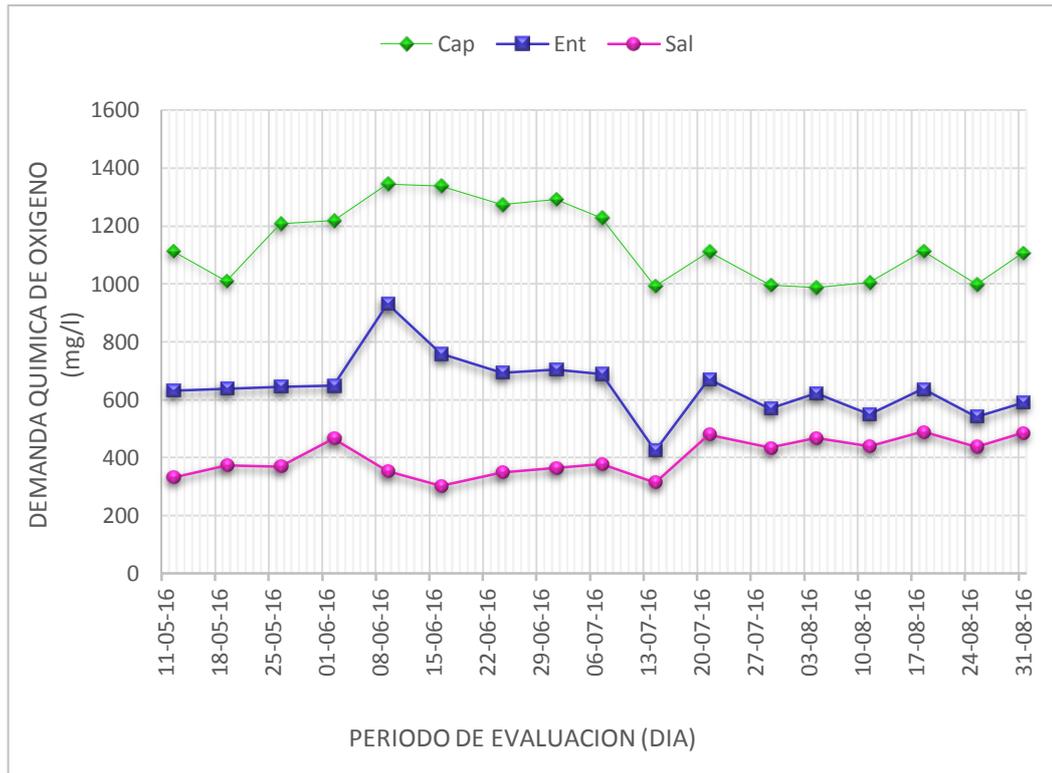


Figura 4.10: Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO)

En la figura 4.11, se observa que la eficiencia máxima de remoción de demanda química de oxígeno es de 62% que corresponde a un tiempo de residencia hidráulico de 8 horas.

A medida que se disminuye el tiempo de residencia hidráulico, la remoción de la demanda química de oxígeno desciende progresivamente hasta 18% para un tiempo de residencia hidráulico de 4 horas.

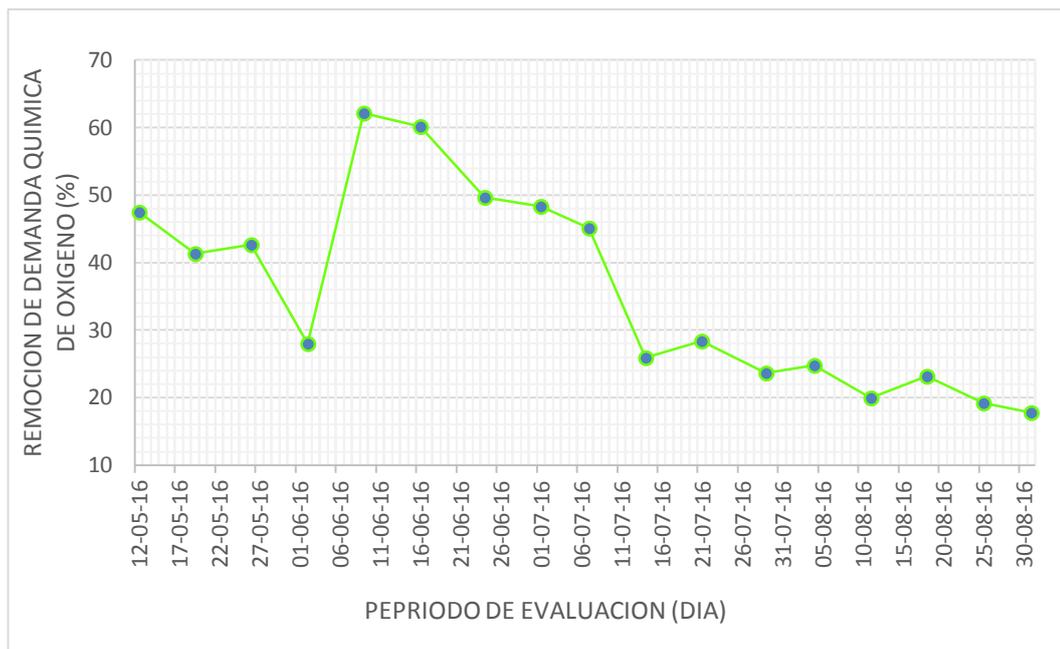


Figura 4.11: Remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

4.7 COMPORTAMIENTO DE SÓLIDOS

La determinación de los sólidos es una prueba indispensable para la operación del reactor UASB, que junto con otros parámetros, proporciona información de la concentración de biomasa bacteriana en el reactor.

4.7.1 SÓLIDOS TOTALES

Parámetro monitoreado a partir de del mes de mayo, desde 9 horas hasta 4 horas de TRH, cuyos resultados se representa en la figura 4.12.

Como se puede observar las concentraciones de los solitos totales (ST) al ingreso del reactor oscilan en un rango desde un mínimo de 486,8 mg/l hasta un máximo de 564,5 mg/l. en cambio, las concentraciones de los ST a la salida oscilan en el

siguiente rango: mínimo 421,4 mg/l, máximo 479,8 mg/l; esto demuestra la remoción de los ST por acción biológica en el reactor habiendo alcanzado una máxima remoción de 22% para 9 horas de TRH (figura 4.13).

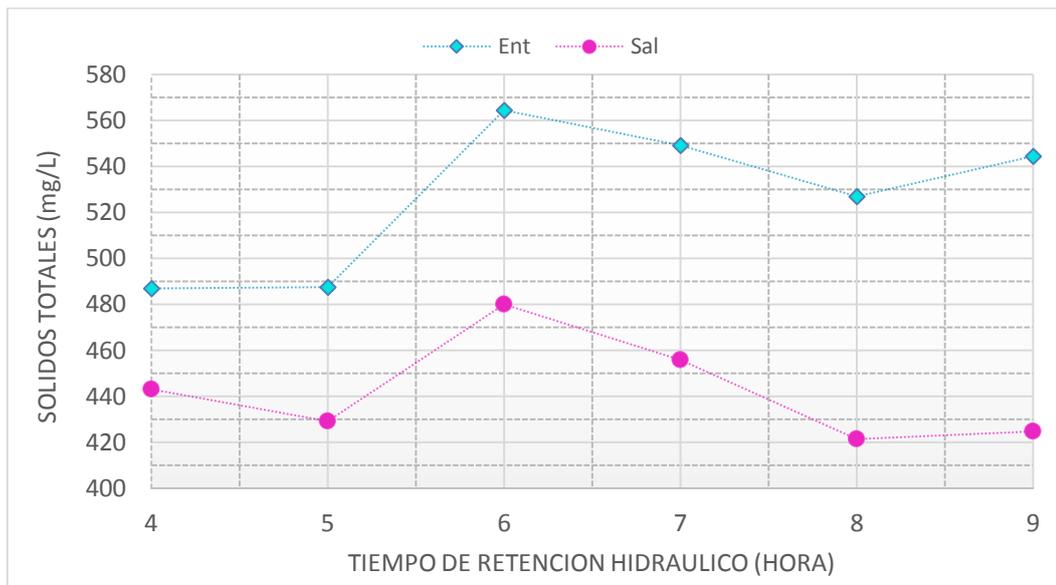


Figura 4.12: Comportamiento de los sólidos totales (ST)

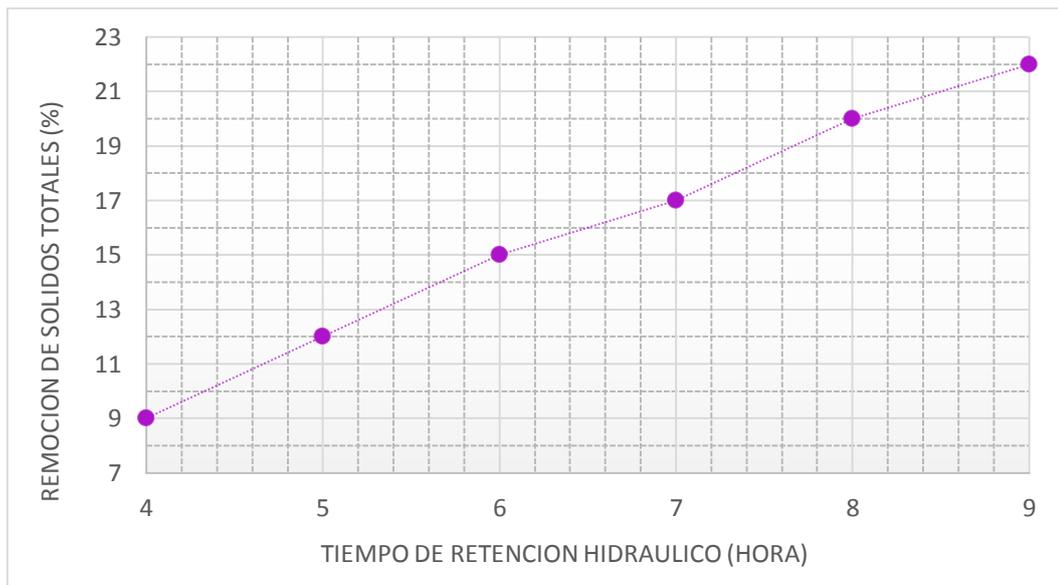


Figura 11: Remoción de los sólidos totales (ST)

4.7.2 SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

El comportamiento de los sólidos totales volátiles (SVT) respecto a los sólidos totales, varía en un promedio de 28% a la entrada del reactor y un 17% a la salida del mismo.

En la figura 4.14, se puede observar las concentraciones de los sólidos volátiles totales al ingreso del reactor oscilan en un rango desde un mínimo de 167,3 mg/l hasta un máximo de 113,6 mg/l. mientras que las concentraciones de los SVT a la salida del reactor oscilan en el siguiente rango: mínimo 55,2 mg/l, máximo 97,5 mg/l.

La mayor eficiencia del reactor para la remoción de los sólidos volátiles totales se ha determinado para 9 horas de TRH, cuya eficiencia fue disminuyendo a medida que se incrementaba el caudal y a medida que se disminuía el TRH, el cual disminuyó hasta 24% para un TRH de 4 horas (figura 4.15).

Los resultados demuestran que hay una alta tasa de remoción de los SVT que asciende en 67% para 9 h.



Figura 4.14: Comportamiento de los sólidos volátiles totales (SVT)

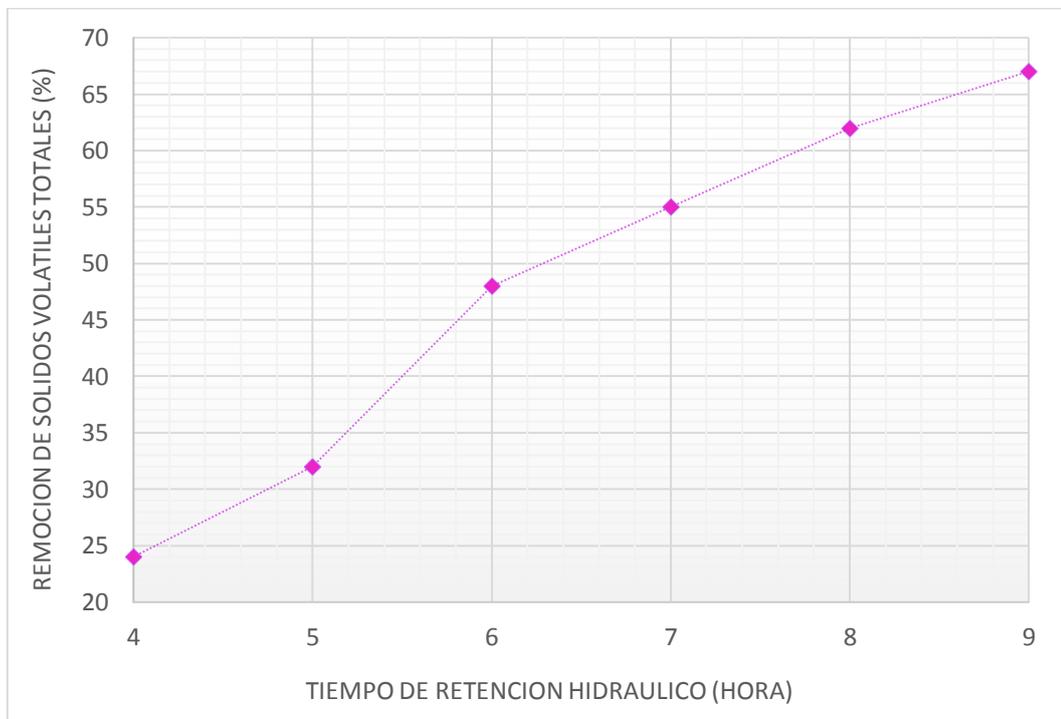


Figura 4.15: Remoción de los sólidos volátiles totales (SVT)

4.8 COMPORTAMIENTO DE COLIFORMES FECALES

El monitoreo de los coliformes fecales (CF) o coliformes termotolerantes (CT), se dio inicio a finales del mes de mayo, cuando la operación del reactor fue con un TRH de 9 horas y un caudal de 61 ml/min.

En la figura 4.16, se representan las concentraciones de los coliformes fecales o termotolerantes desde 9 horas hasta 4 horas de tiempo de residencia hidráulica en el reactor, donde las concentraciones del afluente oscilan en un rango bastante variable, mínimo de $7,7E^{+07}$, máximo de $7,8E^{+08}$ NMP/100ml. Sucede para el efluente del reactor los valores oscilan en un rango menos variable, desde un mínimo de $2,30E^{+07}$ y un máximo de $2,0E^{+08}$.

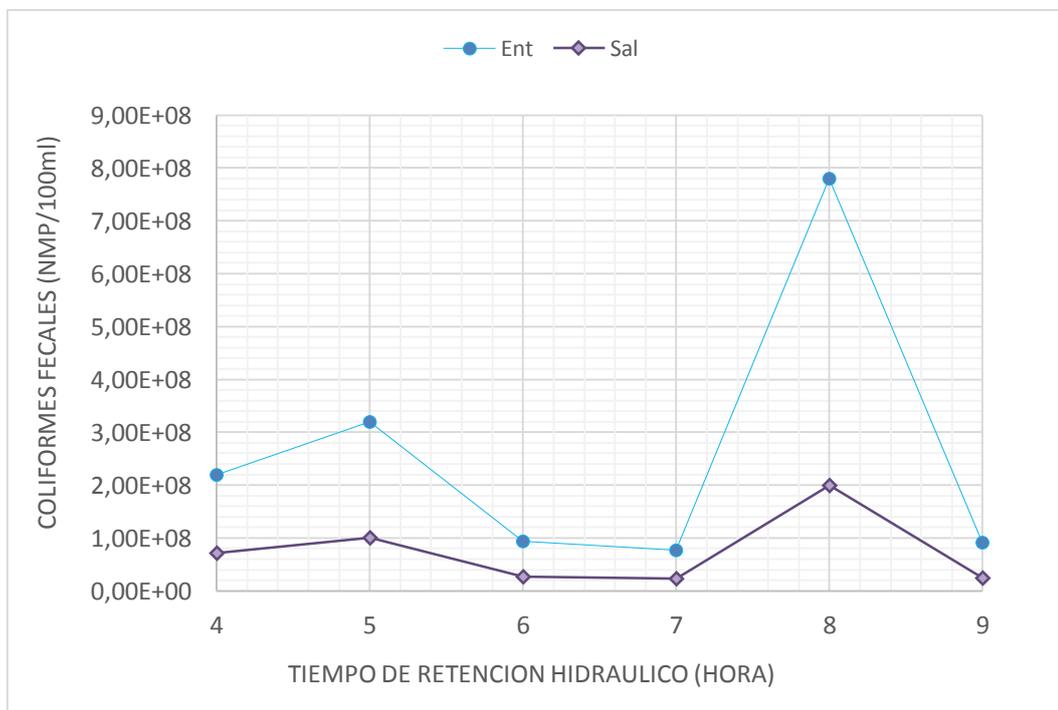


Figura 4.16: Comportamiento de coliformes fecales (CF)

En la figura 4.17, se representan la eficiencia del reactor en porcentajes de remoción de los coliformes termotolerantes, en donde se muestra que la máxima eficiencia alcanzada fue de 74% para un TRH de 9 y 8 horas. Sin embargo, la eficiencia del reactor fue disminuyendo paulatinamente en función a la disminución del TRH, experimentando caída en la remoción de los coliformes fecales hasta 67% para TRH de 4 horas.

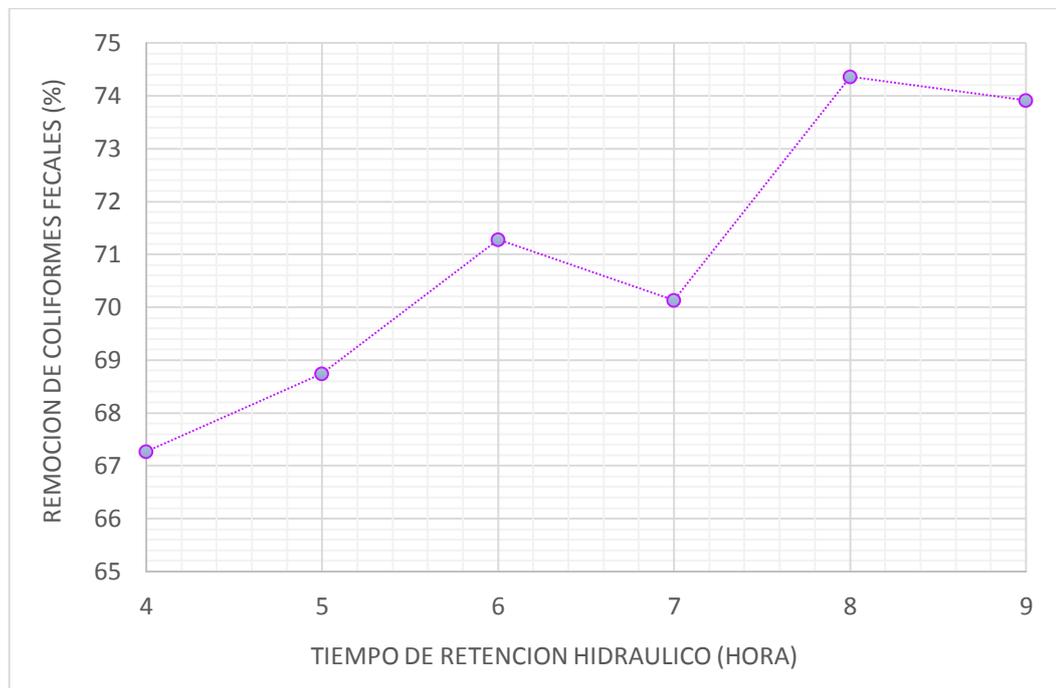


Figura 4.17: Remoción de coliformes fecales (CF)

4.9 COMPORTAMIENTO DEL BIOGÁS

La cuantificación del biogás no fue la prioridad de esta investigación, debido a que la producción del mismo está garantizada por otros parámetros tales como la remoción de DBO, DQO, STV. Sin embargo, la producción durante el periodo de

investigación fue notoria, con ligeras variaciones en función al tiempo y la variación del caudal y/o TRH.

Para efectos de demostración de la producción del biogás, la cuantificación se ha determinado por el desplazamiento en la columna del agua (figura 4.18), cuya producción máxima fue para un TRH de 9 horas en una razón de 3,5 litros de biogás/día, medidas al extraer el gas con una jeringa de 50 ml, las veces que sea necesaria hasta alcanzar a la línea o punto de referencia marcada en la columna.



Figura 4.18: Comportamiento del biogás



Figura 4.19: Combustión de biogás producido

4.10 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la tabla 4.1, se muestran los resultados experimentales del monitoreo de los parámetros de operación del reactor UASB de los diferentes puntos de muestreo, los cuales corresponden solamente a los resultados obtenidos durante la operación con 9 horas de tiempo de retención hidráulica, ya que a estas condiciones el reactor alcanzó su máxima eficiencia.

Bajo esta condición de operación ($TRH = 9$ h), el reactor estuvo en funcionamiento durante veinte días calendarios, cuyas variables de operación se ha monitoreado tres veces, una vez por semana, en los cuales los resultados presentaron mínimas variaciones. Por lo tanto, los resultados que se describen en la tabla 4.1 representan el promedio de los tres resultados de cada variable.

Tabla 4.1: Tabla de resultados experimentales promedio para tiempo de residencia de 9 horas

Parámetro	Unidad	Puntos de monitoreo			
		Captación	Entrada reactor	En el reactor	Salida reactor
Temperatura	°C	20,4	19,9	24,7	19,8
pH	-	7,8	7,5	7,8	7,8
Turbiedad	NTU	234,0	90,4	-	47,2
Color	UC	270,6	170,6	-	90,7
DBO ₅	mg/l	212,3	220,0	-	63,4
DQO (*)	mg/l	1 110,7	638,6	-	358,6
Sólidos totales	mg/l	-	544,4	-	424,6
Sólidos volátiles totales	mg/l	-	167,3	-	55,2
Coliformes fecales	NMP/100ml	-	9,2*10 ⁷	-	2,4*10 ⁷
Conductividad	us/cm	1 008,0	1 140,5	-	1 159,0
Salinidad	%	0,5	0,6	-	0,6
Sólidos totales disueltos	mg/l	498,0	564,0	-	575,5
Alcalinidad	mg/l	275,0	370,0	-	410,0
Acidez	mg/l	34,0	42,0	-	36,0

Notas: (*) El mayor porcentaje de remoción de DQO para TRH de 9 horas fue de 48%; sin embargo, en todo el periodo de operación del reactor se obtuvo mejor resultado al operar con TRH = 8 horas, alcanzando una remoción de DQO de hasta un 62%.

CONCLUSIONES

1. Se ha diseñado, construido, implementado y puesto en funcionamiento un reactor anaeróbico de flujo ascendente a escala piloto, durante un periodo de 6 meses, con las siguientes características:

Forma del reactor : cilíndrico

Tipo de material del reactor : Tuvo PVC

Altura del reactor : 1,80 metros

Diámetro del reactor : 15,24 centímetros

Volumen del reactor : 33 litros

2. En base a la evaluación de las variables de proceso se ha determinado los parámetros de operación para el reactor UASB en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Totorá” de la ciudad de Ayacucho.

TRH óptimo : 9 horas

Caudal óptimo : 61 ml/min

T° en la captación : 18,5 – 22,3 °C

T° en el reactor : 23,0 – 25,3 °C

pH en el reactor : 6,9 – 7,9

3. Las variables para el diseño, construcción e implementación del reactor UASB fueron: tiempo de retención hidráulico igual a 9 horas, forma cilíndrica, caudal mínimo 137 ml/min, diámetro de la tubería de alimentación 16 mm, dos líneas de descarga una para el agua depurada y otra para el biogás producido, en la parte lateral del reactor se ha dispuesto 9 válvulas para toma de muestras y visualizar el perfil de sólidos. El anclaje del reactor es un

pedestal ubicado a 50 cm del nivel suelo. Para garantizar el flujo de alimentación constante se ha instalado un tanque de polietileno de 600 litros, ubicado a una altura de 2,50 metros con referencia a la base del reactor instalado.

4. De acuerdo a los resultados experimentales el reactor UASB experimenta buena eficiencia, ya que se ha alcanzado una remoción máxima de DBO_5 de 71%, bajo condiciones de tiempo de retención hidráulico de 9 horas, como se muestra en la tabla 4.1.
5. La remoción de DQO alcanzada en el reactor UASB, fue de 62% para un tiempo de retención hidráulico de 8 horas con caudal de alimentación de 68 ml/min.
6. Además, se ha determinado que la eficiencia del reactor en cuanto a la remoción de los coliformes fecales o termotolerantes fue de 74% para tiempo de retención hidráulico de 9 horas.
7. Se ha observado que hay una tendencia a disminuir la eficiencia del reactor cuando disminuye significativamente el tiempo de residencia, como se observa en la figura 4.9.
8. Los resultados experimentales muestran que la tasa de producción de biogás más alta alcanzada fue de 3,5 litros/día, para un tiempo de retención hidráulico de 9 horas, con un caudal de alimentación de 61 ml/min.

RECOMENDACIONES

- 1 Se recomienda implementar reactores UASB de acuerdo al caudal y características fisicoquímicas y microbiológicas del flujo de alimentación de aguas residuales en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Tatora” de la ciudad de Ayacucho, a fin de obtener mayor capacidad de remoción de contaminantes, y la producción de biogás como fuente de energía.
- 2 Se recomienda tomar en cuenta que el tiempo de residencia óptimo es de 9 horas para fines de diseño de un reactor UASB a gran escala.
- 3 El efluente del reactor UASB, requiere la complementación con un tratamiento secundario mediante sistemas tradicionales como filtros percoladores, lodos activados o lagunas, que permita que el efluente alcance los niveles aceptables por la legislación peruana para que este sea vertido a un cuerpo receptor.
- 4 Se debe implementar un área de investigación tecnológica en la planta de tratamiento de aguas residuales “La Tatora”, con la finalidad de disponer de un banco de datos con las características de los distintos centros poblados, que permitan la implementación de unidades de tratamiento de aguas residuales según las características particulares de cada lugar.
- 5 Se recomienda seguir investigando acerca del funcionamiento de los reactores UASB, instalados en serie y paralelo con la finalidad de establecer los modelos matemáticos que puedan facilitar el diseño y la implementación en zonas de clima templado.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Arroyabe, D., Gonzalez, M., & Gallego, D. (2008). Evaluacion del comportamiento hidraulico de un reactor UASB utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Colombia.

Baez, D. (2008). Principio del tratamiento biologico anaerobio. Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/3420105/>

Becerra, G. (Diciembre de 2016). Curso virtual de tratamiento de aguas residuales domesticas y municipales para su reuso. Peru. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/2017/09/01/octava-edicion-del-curso-virtual-de-tratamiento-de-aguas-residuales-domesticas-y-municipalidades-para-su-reuso/>

Caicedo, F. (2006). Diseño, construccion y arranque de un reactor UASB piloto para el tratamiento de lixiviados. Colombia.

Castillo, F., Solano, K., & Rangel, P. (2006). Evaluación operacional de un sistema a escala laboratorio de biopelícula anaerobia soportada para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista ION. Vol. 19. No. 1. 18-22.

Conil, P. (2005). La tecnologia anaerobia UASB en el tratamiento de aguas residuales domesticas: 10 años de desarrollo y maduracion en america latina. Belgica: BIOTEC.

- Crites, G., & Tchobanglous, R. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogota, Colombia: Mc Graw Hill.*
- Diaz, M., Espitia, S., & Molina, F. (2002). Digestión anaerobia. Bogotá, Colombia.*
- Droste, L. (1997). Theory and practice of water and wastewater treatment. United States, United States.*
- Fry, J. (1975). Gas and gas usage, practical building of methane power plants.*
- Lettinga, G. (1997). Anaerobic treatment in sustainable environmental production concepts. Japon.*
- Martinez, G., & Camilo, S. (2007). Diseño de un prototipo de control de temperatura para un reactor UASB mediante la utilización del biogás que se produce en este reactor en la empresa gaseosas lux s.a. Bogota, Colombia.*
- Norma OS.090. (2006). Plantas de tratamiento de aguas residuales.*
- Polanco, F. (2014). Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Obtenido de <https://es.slideshare.net/AngeloStevenGeronimo/digestion-anaerobia-fernandez-polanco>*
- Rossi, M. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Peru. Peru, Perú: Fondo Nacional del Ambiente - Peru.*

Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domesticas en paises en desarrollo. EIA, ISSN 1794-1237, 18.

Van Haandel, A., & Lettinga, G. (1994). Anaerobic sewage treatment: A practical guide for regions with a hot climate.

Yaniris, L., & Obaya, M. (2006). La digestion anaerobia y los reactores UASB. ICIDCA.

ANEXOS

ANEXO N° 01:

DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA Y ESTABLECEN DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS.

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino oósteras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino oósteras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino oósteras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino oósteras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas oósteros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Preclárese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los Instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efuente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de exopolón para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determinan condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la Información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los Instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los Instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYŃSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLAECHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cianuros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala PCCo	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Ferroso Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Fibrosos de Origen Antropogénico		Ausencia de material fibroso de origen antropico	Ausencia de material fibroso de origen antropico	Ausencia de material fibroso de origen antropico
Nitrato (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	50	50	50
Nitrato (NO ₃ ⁻) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobalto	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Cromo	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₁₀ - C ₂₄)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Tolueno	(*)	1,0	1,0	1,0
Bromobenceno	mg/L	0,1	**	**
Clorobenceno	mg/L	0,3	**	**
Dibromodioxetano	mg/L	0,1	**	**
Bromodioxetano	mg/L	0,05	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexafluorobutadieno	mg/L	0,0005	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xileno	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Oxaniclorados				
Malatión	mg/L	0,19	0,0001	**
Oxaniclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,0003	0,0003	**
Clodano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dieldrin Difinil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0005	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0003	0,0003	**
Lindano	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTRINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,005	0,005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismos/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vólvulo clausura	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoos, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estados evolutivos) (f)	N° Organismos/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO_3^- -N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 3,28 para expresarlo en unidades de Nitratos (NO_3).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{Cloroformo}}}{E_{CA\text{Cloroformo}}} + \frac{C_{\text{Dibromoclorometano}}}{E_{CA\text{Dibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromodiclorometano}}}{E_{CA\text{Bromodiclorometano}}} + \frac{C_{\text{Bromoformo}}}{E_{CA\text{Bromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodiclorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICO- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cloruro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cloruro Wad	mg/L	0,05	**
Color	Color verdadero Escala PVCo	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Fibrosos de Origen Antropogénico		Ausencia de material fibroso	Ausencia de material fibroso
Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$)	mg/L	10	**
Nitrógeno ($\text{NO}_2\text{-N}$)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuro	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Arqueénico	mg/L	0,006	**
Asenico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobalto	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
E. coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismos/L	0	**
Género de desechos	N° Organismos/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos Intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmónella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equidemos y bivalvos en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICO-QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	ng/l	1,0	1,0	2,0	1,0
Clasas Wad	ng/l	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (a)	Color verdadero Escala PUCo	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	ng/l	**	10	10	10
Fósforo Total	ng/l	0,002	0,002	**	0,005
Nitratos (NO ₃ -N) (c)	ng/l	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	ng/l	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5	6,0-8,0
Sólidos Suspendedos Totales	ng/l	80	60	70	**
Sulfatos	ng/l	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoníaco Total (NH ₃)	ng/l	**	**	**	(1)
Antimonio	ng/l	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	ng/l	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	ng/l	5	5	**	0,75
Cadmio	ng/l	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	ng/l	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	ng/l	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	ng/l	0,00034	0,0011	0,0018	0,00077
Níquel	ng/l	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	ng/l	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	ng/l	0,071	0,071	**	0,005
Talio	ng/l	**	**	**	0,0008
Zinc	ng/l	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (Reacción aromática)	ng/l	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	ng/l	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOCLÓRICO					
Hidrocarburos de Petróleo	ng/l	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformos Totales	NMP/100 ml	≤ 14 (Área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (Área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4,43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃-).

(d) Área Aprobada: Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH							
	6	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0
0	201	73,0	23,1	7,32	2,30	0,769	0,250	0,042
5	193	69,3	19,3	6,94	1,94	0,632	0,172	0,034
10	182	62,4	16,3	6,26	1,94	0,543	0,121	0,029
15	167	52,0	13,8	5,22	1,715	0,439	0,086	0,025
20	149	38,2	10,2	4,09	1,499	0,351	0,067	0,024
25	128	26,6	7,37	3,08	1,284	0,283	0,053	0,022
30	107	18,6	5,29	2,22	1,077	0,232	0,043	0,021

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICO-QUÍMICOS				
Acidez y Grasa	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cloruro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruro	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala PV Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Dalergenos (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Ferros	mg/L	0,002		0,01
Fluoruro	mg/L	1		**
Nitrato (NO ₃ -N) + Nitrito (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitrato (NO ₃ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfato	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobalto	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Potasio	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICOS				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Carbendazim	µg/L	0,006		7
Dieldrin	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMPY100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMPY100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala P/Co	20 (u)	20 (u)	20 (u)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,50	2,50	2,50	5,0	5,0
Fósforo total	mg/L	0,025	0,05	0,05	0,124	0,052
Nitrato (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,215	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuro	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,04	0,04	0,04	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,008	0,008
Cobalto	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,082	0,082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,001	0,001
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,011	0,011
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benceno (Puro)	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00014	0,00014	0,00014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Milmetón	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,00013	0,00013	0,00013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,00004	0,00004	0,00004	**	**
Clordano	mg/L	0,000043	0,000043	0,000043	0,00004	0,00004
DDT (Suma de 4,4-DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
Dieldrin	mg/L	0,000058	0,000058	0,000058	0,000019	0,000019
Endosulfen	mg/L	0,000058	0,000058	0,000058	0,0000187	0,0000187
Erdin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,000023	0,000023
Heptacloro	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Haptoceros Epérido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038	0,000038
Lindano	mg/L	0,0005	0,0005	0,0005	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cadmata						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N ($\text{NO}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 6:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoníaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH_3) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

(2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH_3)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	6,90	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00
7,4	17,00	12,00	7,90	5,30	3,70	2,60	1,90	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,90	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	6,90	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,90	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,90	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	2,60	1,90	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,91	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,29	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N ($\text{NH}_3\text{-N}$), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH_3).

NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.

- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.

- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1628836-2

ANEXO N° 02:

DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM: LÍMITES MÁXIMOS

PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PLANTAS DE

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS O

MUNICIPALES

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5º.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUEQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

DECRETO SUPREMO
Nº 003-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32º de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permissible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33º de la Ley Nº 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7º del Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permissible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14º del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo Nº 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguran, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28º el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118º de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11º de la Ley Nº 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1º.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2º.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permitan la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permissible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3º.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4º.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no están regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7º.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidenta Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	en ml/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo Nº 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3º de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demandan las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5º de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 070-2008-MINAM, se designó a la señora Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la señorita citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo Nº 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1º.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM.

Artículo 2º.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3º.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4º.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrase, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1

ANEXO N° 03:
CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE LA PTAR TOTORA

CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: ENERO

AÑO: 2016

CIUDAD: AYACUCHO

CUADRO N° 9

DÍA *	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STS	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C.Termotoleran
			[°C]		[NTU]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
31/01/2016	AGUA DE ENTRADA	17:30	22,86	7,32	368,00	879,46	448,50		371,00			40,83	715,51	277,17	1,70E+08
	SALIDA PL. TOTORA	17:45	23,43	7,44	36,80	1045,32	521,74		35,00			2,32	131,13	51,60	9,40E+06
	RIO ALAMEDA	17:55	21,50	7,89	22,40	510,20	254,11							14,0	1,10E+05
	Desp. Unión R. Alameda	18:02	22,15	8,02	31,30	972,12	466,88							36,0	1,40E+06
	LMP (DS 003-2010-MINAN)*		<35 °C	6,5 -8,5					150,00				20	200	100,00

* A la Salida PTAR


 Ing. Julio M. Hinojosa Molero
 CIP 71931
 JEFE UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
 SEDA AYACUCHO

CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: FEBRERO

AÑO: 2016

CIUDAD : AYACUCHO

CUADRO N° 9

DIA *	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STSusp.	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C.Termodoleran
			[°C]		[NTU]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
29/02/2016	AGUA DE ENTRADA	8:43	21,80	7,22	151,00	964,00	482,00		420,00			8,78	314,21	245,50	3,50E+06
	SALIDA PL TOTORA	13:08	23,30	7,90	38,25	946,50	473,00		30,00			<0,50	74,83	26,20	3,30E+05
	RIO ALAMEDA	13:14	22,35	8,07	11,00	722,50	361,00							0,00	1,01E+04
	Desp. Unión R. Alameda*	13:20	22,15	7,85	30,95	883,50	441,50							38,85	1,40E+04
	LMP (DS 003-2010-MINAN)		<35 °C	6,5 - 8,5					150,00				20	200	100,00

* El último día del mes se reporta los promedios del mes.


 Ing. Julio M. Hinostroza Mole
 CIP 71931
 JEFE UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
 SEDA AYACUCHO

CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: MARZO

AÑO: 2016

CIUDAD : AYACUCHO

CUADRO Nº 9

DIA *	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STSusp.	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C.Termotoleran
			[°C]		[NTU]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
31/03/2016	AGUA DE ENTRADA	15:40	21,20	7,15	144,00	963,00	481,00		275,00			15,16	528,71	386,00	1,70E+07
	SALIDA PL. TOTORA	16:03	22,80	7,75	39,10	944,20	472,00		25,00			<0,50	94,61	45,30	3,30E+06
	RIO ALAMEDA	16:16	22,55	7,97	12,00	720,50	360,00		32,00			<0,50	<10,0	3,72	7,90E+03
	Desp. Unión R. Alameda*	16:30	22,30	7,80	31,10	880,00	440,50		33,00			<0,50	91,35	55,20	3,30E+06
	LMP (DS 003-2010-MINAN)		<35 °C	6,5 -8,5					150,00				20	200	100,00



 Ing. Julio M. Hinostroza Molca
 CIP 71931
 JEFE UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
 SEDA AYACUCHO

CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: ABRIL

AÑO: 2016

CIUDAD : AYACUCHO

CUADRO N° 9

DIA	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STSusp.	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C. Termotoleran
			[°C]		[NTU]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
31/04/2016	AGUA DE ENTRADA	15:32	20,80	7,34	153,60	964,00	482,00		308,00			83,17	391,57	217,20	7,90E+07
	SALIDA PL. TOTORA	15:54	21,50	7,80	34,80	943,00	471,00		61,00			6,2	86,94	33,08	1,30E+06
	RIO ALAMEDA	16:10	21,00	7,88	15,20	718,00	359,00								
	Desp. Unión R. Alameda	16:21	21,90	7,86	33,00	882,00	441,00							50,00	2,20E+06
	LMP (DS 003-2010-MINAN)		<35 °C	6,5 -8,5					150,00				20	200	100,00

Ayacucho, Mayo 2016


 Ing. Julio M. Hinostroza Molero
 CIP 71931
 JEFE UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
 SEDA AYACUCHO

CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: MAYO

AÑO: 2016

CIUDAD : AYACUCHO

CUADRO N° 9

DIA	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STSusp.	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C.Termotoleran
			[°C]		[NTU]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
31/05/2016	AGUA DE ENTRADA	17:20	17,90	7,26	244,00	1026,00	326,00	964,0	275,00			23,3	320,5	94,63	9,40E+07
	SALIDA PL TOTORA	17:41	18,20	7,81	37,40	1096,00	26,00	702,0	25,00			14,55	344,07	16,15	2,30E+06
	RIO ALAMEDA	17:50	17,30	7,87	9,00	645,00	15,00	332,0	16,00					7,30	7,90E+03
	Desp. Unión R. Alameda	17:58	18,80	7,40	30,00	880,00	18,00	592,0	33,00			0,77	173,31	12,91	1,70E+05
	LMP (DS 003-2010-MINAN)		<35 °C	6,5 -8,5					150,00				20	200	100,00

Ayacucho, Junio 2016



 Ing. Julio M. Hinostroza Molero
 CIP 71931
 JEFE UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
 SEDA AYACUCHO

CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: JUNIO

AÑO: 2016

CIUDAD : AYACUCHO

CUADRO N° 9

DIA	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STSusp.	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C.Termotoleran
			[°C]		[NTU]	[μS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
02/06/2016	AGUA DE ENTRADA	17.15	17,30	7,63	238,00	1110,00	739,00	1020,0	281,00			33,98	361,92	223,50	7,90E+08
	SALIDA PL. TOTORA	17.36	17,15	7,71	39,10	1136,00	836,00	863,0	27,00			2,48	360,58	55,27	3,30E+06
	RIO ALAMEDA	17.40	15,20	7,79	12,00	730,00	388,00								7,90E+03
	Desp. Unión R. Alameda	17.50	16,70	7,58	29,70	1066,00	698,00								3,30E+05
	LMP (DS 003-2010-MINAN)		<35 °C	6,5 -8,5					150,00				20	200	100,00

Ayacucho, Julio 2016



 Ing. Julio M. Hinostroza Molero
 CIP 71931
 JEFE UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
 SEDA AYACUCHO

CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: JULIO

AÑO: 2016

CIUDAD : AYACUCHO

CUADRO N° 9

DIA	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STSusp.	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C.Termotoleran
			[°C]		[NTU]	[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
14/07/2016	AGUA DE ENTRADA	17:02	17,20	7,69	222,00	1220,00	760,00	1147,0	312,00		343,70	40,87	590,55	365,67	7,90E+07
	SALIDA PL. TOTORA	17:21	17,01	7,82	29,10	1326,00	863,00	914,0	35,00			8,69	124,42	31,56	1,30E+06
	RIO ALAMEDA	17:40	16,80	8,00	7,00	740,00	399,00								2,40E+03
	Desp. Unión R. Alameda	17:50	16,90	7,72	19,30	1051,00	589,00								3,60E+05
	LMP (DS 003-2010-MINAN)		<35 °C	6,5 -8,5					150,00				20	200	100,00

Ayacucho, Agosto 2016



CONTROL DE CALIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA, RIO ALAMEDA Y CUERPO RECEPTOR

MES: AGOSTO

AÑO: 2016

CIUDAD : AYACUCHO

CUADRO N° 9

DIA	PUNTO DE MUESTREO	Hora	Temp.	pH	Turb.	Conduc.	STD	ST	STSusp.	SSed.	Caudal	Aceites y Grasas	DQO	DBO5	C.Termoderantes
			[°C]		[NTU]	[μS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[ml/L/2h]	[l/s]	[mg/L]	[mg/l]	[mg/l]	NMP/ 100ml
24/08/2016	AGUA DE ENTRADA	16:45	16,00	6,78	392,00	1013,00	497,00		409,00			54,89	633,51	419,33	3,30E+08
	SALIDA PL. TOTORA	16:27	16,20	7,21	261,00	1065,00	523,00		39,00			3,25	140,45	39,00	4,90E+06
	RIO ALAMEDA	16:10	15,40	7,83	8,00	730,00	388,00								5,40E+04
	Desp. Unión R. Alameda	16:16	16,30	7,60	33,20	1067,00	698,40								3,30E+05
	LMP (DS 003-2010-MINAN)		<35 °C	6,5 -8,5					150,00				20	200	100,00

Ayacucho, Setiembre 2016


 Ing. Julio M. Hinostroza Molero
 CIP 71931
 JEFE UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
 SEDA AYACUCHO

ANEXO N° 04:
CÁLCULOS DE DISEÑO DE REACTOR UASB

DISEÑO DE REACTOR UASB A ESCALA PILOTO

Pulg. cm

Diámetro de tubo =

6	15.24
---	-------

Área transv. tubo (cm²) =

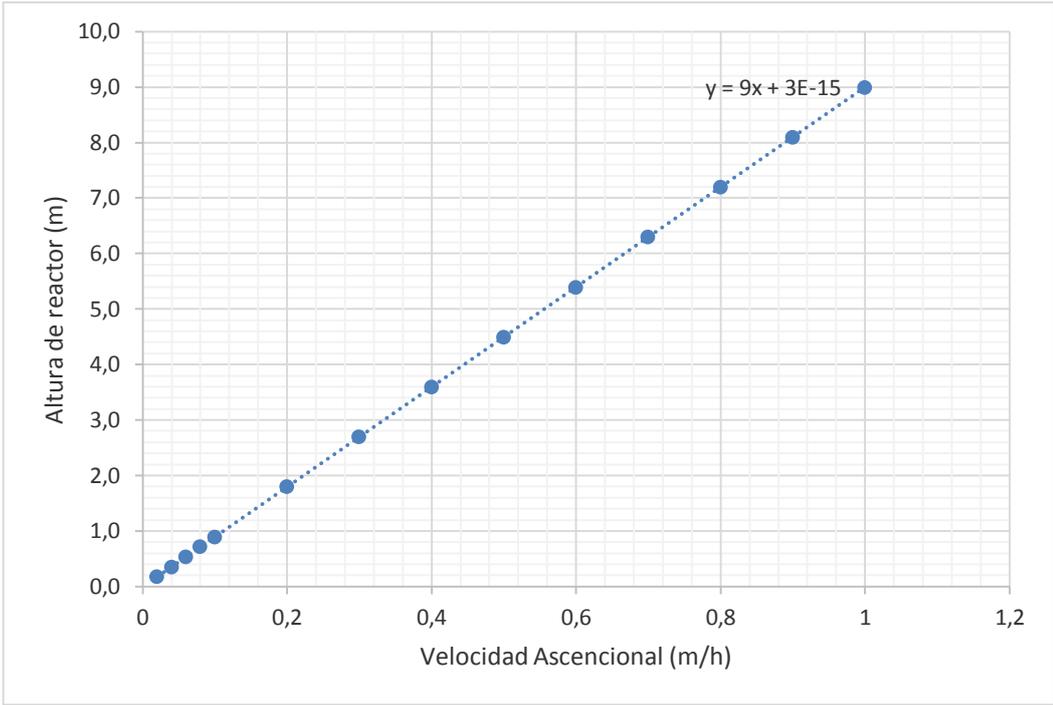
182.415119

h min

TRH =

9	540
---	-----

Velocidad ascensional m/h	Velocidad ascensional cm/min	Q min cm ³ /min	Vol. Reactor cm ³	Altura Reactor cm	Altura Reactor m
0.02	0.03	6.08	3283.47	18	0.2
0.04	0.07	12.16	6566.94	36	0.4
0.06	0.10	18.24	9850.42	54	0.5
0.08	0.13	24.32	13133.89	72	0.7
0.1	0.17	30.40	16417.36	90	0.9
0.2	0.33	60.81	32834.72	180	1.8
0.3	0.50	91.21	49252.08	270	2.7
0.4	0.67	121.61	65669.44	360	3.6
0.5	0.83	152.01	82086.80	450	4.5
0.6	1.00	182.42	98504.16	540	5.4
0.7	1.17	212.82	114921.52	630	6.3
0.8	1.33	243.22	131338.89	720	7.2
0.9	1.50	273.62	147756.25	810	8.1
1	1.67	304.03	164173.61	900	9



Interpolación

Caudal		Altura del Reactor	
A =	121.61	P =	1.6
X =		Q =	1.8
B =	152.01	R =	2

X = 136.81

Resultados de la interpolación para la determinación de los diferentes caudales a evaluar.

TRH (d)	TRH (h)	Q (ml/min)
1.0	24	23
1.0	23	24
0.9	22	24
0.9	21	26
0.8	20	27
0.8	19	29
0.8	18	30
0.7	17	32
0.7	16	34
0.6	15	36
0.6	14	39
0.5	13	42
0.5	12	46
0.5	11	50
0.4	10	55
0.4	9	61
0.3	8	68
0.3	7	78
0.3	6	91
0.2	5	109
0.2	4	137
0.1	3	182
0.1	2	274

ANEXO N° 05:
DATOS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Tabla de resultados de la evaluación del caudal, tiempo de residencia hidráulico, temperatura, turbiedad, pH, color, demanda bioquímica de oxígeno.

FECHA	HORA	Q (ml/min)	TRH (h)	T (°C)				TURB. (NTU)				pH			COLOR			DBO ₅ (mg/l)			
		Ent.	Reac.	Cap.	Ent.	Reac.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	%	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	%
20-02-16	16:00:00	23.0	24.0																		
26-02-16	16:00:00	23.0	24.0	21.5	21.3	25.3	21.4	180.0	39.2	33.8	81	8.3	7.6	7.8				129.0	130.0	84.0	35
03-03-16	17:00:00	23.0	24.0	21.8	20.2	24.9	20.0	185.0	91.6	40.8	55	8.2	7.4	7.9				201.0	203.0	66.8	67
10-03-16	16:00:00	23.0	24.0	22.3	21.0	25.0	21.0	203.0	93.8	38.3	59	8.0	7.4	7.9				183.0	185.0	60.8	67
18-03-16	16:00:00	30.0	18.0	22.0	20.0	25.0	20.0	228.0	81.5	43.0	47	8.6	7.8	7.9				191.0	195.0	62.4	68
25-03-16	09:00:00	30.0	18.0	21.9	20.3	24.2	20.3	229.0	65.0	42.0	35	8.6	7.8	7.9				197.0	200.0	63.1	68
01-04-16	16:00:00	39.0	14.0	21.4	20.0	24.8	21.0	226.0	85.0	40.0	53	8.4	7.9	7.9				208.0	210.0	67.0	68
07-04-16	17:00:00	39.0	14.0	21.0	20.5	24.3	20.8	228.0	83.0	52.1	37	7.6	7.4	7.4				205.0	208.0	66.0	68
14-04-16	12:00:00	50.0	11.0	21.2	20.2	24.7	20.3	229.0	84.5	55.4	34	7.8	7.5	7.8				206.0	203.0	64.0	68
21-04-16	16:00:00	50.0	11.0	20.0	19.0	25.0	19.5	224.0	81.6	48.2	41	7.5	7.5	7.6				204.0	203.0	63.5	69
29-04-16	16:00:00	55.0	10.0	20.3	20.0	24.6	19.8	238.0	92.0	43.8	52	7.4	7.3	7.4				208.0	209.0	63.5	70
06-05-16	10:00:00	55.0	10.0	20.0	19.4	24.2	19.0	232.0	84.0	47.6	43	7.6	7.5	7.5				205.0	213.0	64.6	70
12-05-16	17:00:00	61.0	9.0	21.0	20.3	24.7	20.6	228.0	91.1	48.5	47	7.9	7.5	7.7				212.0	217.0	63.4	71
19-05-16	16:00:00	61.0	9.0	20.2	19.6	24.4	19.5	229.0	98.9	51.9	48	7.8	7.5	7.8				210.0	214.0	61.9	71
26-05-16	16:00:00	61.0	9.0	20.0	19.7	24.0	19.3	245.0	81.1	41.2	49	7.8	7.6	7.8	270.6	170.6	90.7	215.0	229.0	65.7	71
02-06-16	17:00:00	68.0	8.0	19.5	19.0	23.7	19.4	218.0	77.9	47.6	39	6.8	6.7	7.7				196.0	201.0	62.3	69
09-06-16	16:00:00	68.0	8.0	19.0	18.3	23.6	18.6	187.0	78.6	51.4	35	7.3	7.2	7.3				203.0	207.0	62.0	70
16-06-16	17:00:00	68.0	8.0	19.1	18.7	23.2	18.0	198.0	80.7	49.7	38	7.0	6.7	7.8	135.5	77.9	70.7	200.0	207.0	63.1	70

Continuación tabla de resultados de la evaluación del caudal, tiempo de residencia hidráulico, temperatura, turbiedad, pH, color, demanda bioquímica de oxígeno

FECHA	HORA	Q (ml/min)	TRH (h)	T (°C)				TURB. (NTU)				pH			COLOR			DBO ₅ (mg/l)			
		Ent.	Reac.	Cap.	Ent.	Reac.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	%	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	%
24-06-16	16:00:00	78.0	7.0	19.0	18.2	23.0	18.1	221.0	82.6	43.1	48	6.9	6.8	7.2				195.0	174.0	60.3	65
01-07-16	15:00:00	78.0	7.0	18.6	18.0	23.4	18.5	221.0	85.4	42.9	50	6.7	6.6	6.9				195.0	201.0	74.6	63
07-07-16	16:00:00	78.0	7.0	19.0	18.4	24.0	18.2	207.0	78.3	46.1	41	6.5	6.5	6.9	116.9	68.1	62.1	178.0	182.0	72.1	60
14-07-16	12:00:00	91.0	6.0	19.1	18.6	24.1	18.0	194.0	79.9	45.4	43	6.7	6.1	7.0				190.0	214.0	74.3	65
21-07-16	18:00:00	91.0	6.0	18.5	18.0	23.5	18.3	199.0	82.2	44.0	46	6.8	6.6	7.2				187.0	210.0	76.2	64
29-07-16	10:00:00	91.0	6.0	19.0	18.1	23.6	18.0	208.0	89.5	42.0	53	6.9	6.7	7.1	146.8	91.9	68.9	191.0	225.0	78.6	65
04-08-16	16:00:00	91.0	6.0	18.9	18.0	23.2	18.6	203.0	92.8	47.0	49	7.1	6.9	7.2				193.0	234.0	80.0	66
11-08-16	17:00:00	109.0	5.0	18.7	18.3	23.1	18.1	192.0	96.5	45.3	53	7.1	7.1	7.2				216.0	218.0	78.0	64
18-08-16	16:00:00	109.0	5.0	19.0	18.0	23.0	18.4	198.0	98.0	40.0	59	6.9	6.7	7.0	160.7	124.7	65.6	206.0	206.0	77.5	62
25-08-16	15:00:00	137.0	4.0	19.1	18.0	24.0	18.0	200.0	95.0	51.5	46	7.0	6.9	7.0	141.1	164.0	86.9	214.0	224.0	89.8	60
31-08-16	10:00:00	137.0	4.0	19.2	18.5	23.6	18.2	201.0	90.1	48.2	47	6.9	6.8	6.9	145.3	167.4	78.3	199.0	210.0	82.3	61

Max	137.0	24.0	22.3	21.3	25.3	21.4	245.0	98.9	55.4	81	8.6	7.9	7.9	270.6	170.6	90.7	216.0	234.0	89.8	71
Prom	66.1	10.9	20.0	19.2	24.1	19.2	212.5	84.3	45.4	48	7.4	7.1	7.5	159.6	123.5	74.7	197.8	204.7	69.6	66
Min	23.0	4.0	18.5	18.0	23.0	18.0	180.0	39.2	33.8	34	6.5	6.1	6.9	116.9	68.1	62.1	129.0	130.0	60.3	35

Tabla de resultados de la evaluación de demanda química de oxígeno, alcalinidad, acidez, sulfatos, dureza cálcica, dureza total, conductividad.

FECHA	HORA	DQO (mg/l)				ALC			ACIDES			SULFATOS ppm			D ca			D Total			COND			
		Cap.	Ent.	Sal.	%	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	
20-02-16	16:00:00																							
26-02-16	16:00:00																						583.0	821.0
03-03-16	17:00:00																						817.0	929.0
10-03-16	16:00:00																						888.0	993.0
18-03-16	16:00:00																						1206.0	785.0 977.0
25-03-16	09:00:00																						1204.0	787.0 973.0
01-04-16	16:00:00																						1112.0	855.0 982.0
07-04-16	17:00:00																						942.0	930.0 940.0
14-04-16	12:00:00																						994.0	1124.0 1130.0
21-04-16	16:00:00																						924.0	933.0 949.0
29-04-16	16:00:00																							
06-05-16	10:00:00																							
12-05-16	17:00:00	1113.4	631.7	331.6	48																			
19-05-16	16:00:00	1009.6	638.3	374.2	41	270.0	400.0	440.0															996.0 1126.0 1138.0	
26-05-16	16:00:00	1209.0	645.7	370.0	43	280.0	340.0	380.0	34.0	42.0	36.0	5.5	0.5	57.4	72.0	66.0	72.0	136.0	148.0	154.0	1020.0	1155.0	1180.0	
02-06-16	17:00:00	1219.1	648.6	466.8	28																			
09-06-16	16:00:00	1345.9	931.7	352.7	62																			
16-06-16	17:00:00	1337.4	758.4	302.0	60	250.0	280.0	340.0	40.0	36.0	38.0	6.6	3.1	55.7	68.0	72.0	70.0	156.0	130.0	146.0	919.0	948.0	950.0	

Continuación de tabla de resultados de la evaluación de demanda química de oxígeno, alcalinidad, acidez, sulfatos, dureza cálcica, dureza total, conductividad.

FECHA	HORA	DQO (mg/l)				ALC			ACIDES			SULFATOS ppm			D ca			D Total			COND		
		Cap.	Ent.	Sal.	%	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.
24-06-16	16:00:00	1274.9	694.0	349.5	50																		
01-07-16	15:00:00	1290.8	705.2	364.4	48																		
07-07-16	16:00:00	1227.8	688.9	378.2	45	250.0	290.0	300.0	35.0	34.0	34.0	7.7	1.0	58.7	74.0	70.0	72.0	156.0	140.0	146.0	996.0	949.0	982.0
14-07-16	12:00:00	990.9	424.6	314.7	26																		
21-07-16	18:00:00	1110.3	670.0	480.0	28																		
29-07-16	10:00:00	996.7	570.0	435.0	24	285.0	290.0	298.0	39.0	37.0	41.0	6.6	3.1	48.5	69.0	76.0	71.0	140.0	145.0	139.0	920.0	950.0	948.0
04-08-16	16:00:00	987.0	622.0	468.0	25																		
11-08-16	17:00:00	1005.0	550.0	440.0	20																		
18-08-16	16:00:00	1113.0	638.0	490.0	23	260.0	286.0	280.0	39.0	40.0	38.0	7.7	2.2	41.4	68.0	70.0	69.0	138.0	145.0	140.0	910.0	945.0	937.0
25-08-16	15:00:00	999.0	542.0	438.0	19																		
31-08-16	10:00:00	1107.0	590.0	485.0	18	277.0	338.0	248.0	36.0	37.0	39.0	5.7	1.9	45.0	71.0	68.0	69.0	145.0	136.0	170.0	873.0	864.0	897.0

Max	1345.9	931.7	490.0	62	285.0	400.0	440.0	40.0	42.0	41.0	7.7	3.1	58.7	74.0	76.0	72.0	156.0	148.0	170.0	1206.0	1155.0	1180.0
Prom	1137.5	644.1	402.4	36	267.4	317.7	326.6	37.2	37.7	37.7	6.6	1.9	51.1	70.3	70.3	70.5	145.2	140.7	149.2	1001.2	914.9	982.9
Min	987.0	424.6	302.0	18	250.0	280.0	248.0	34.0	34.0	34.0	5.5	0.5	41.4	68.0	66.0	69.0	136.0	130.0	139.0	873.0	583.0	821.0

Tabla de resultados de la evaluación de salinidad, sólidos totales disueltos, sólidos totales, sólidos volátiles totales y coliformes termotolerantes

FECHA	HORA	SAL			STD			ST (mg/l)			SVT (mg/l)			CT (NMP/100ml)		
		Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Ent.	Sal.	%	Ent.	Sal.	%	Ent.	Sal.	%
20-02-16	16:00:00															
26-02-16	16:00:00		0.3	0.4		291.0	487.0									
03-03-16	17:00:00		0.4	0.5		409.0	464.0									
10-03-16	16:00:00		0.4	0.5		443.0	495.0									
18-03-16	16:00:00	0.6	0.4	0.5	601.0	392.0	491.0									
25-03-16	09:00:00	0.6	0.4	0.5	607.0	410.0	480.0									
01-04-16	16:00:00	0.5	0.4	0.5	505.0	404.0	478.0									
07-04-16	17:00:00	0.5	0.5	0.5	468.0	464.0	475.0									
14-04-16	12:00:00	0.5	0.5	0.5	493.0	549.0	560.0									
21-04-16	16:00:00	0.5	0.5	0.5	465.0	462.0	474.0									
29-04-16	16:00:00															
06-05-16	10:00:00															
12-05-16	17:00:00															
19-05-16	16:00:00	0.5	0.6	0.6	498.0	556.0	569.0									
26-05-16	16:00:00	0.5	0.6	0.6		572.0	582.0	544.4	424.6	22	167.3	55.2	67	9.20E+07	2.40E+07	74
02-06-16	17:00:00															
09-06-16	16:00:00															
16-06-16	17:00:00	0.5	0.5	0.5	450.0	462.0	468.0	526.8	421.4	20	166.3	63.2	62	7.80E+08	2.00E+08	74

Continuación de tabla de resultados de la evaluación de salinidad, sólidos totales disueltos, sólidos totales, sólidos volátiles totales y coliformes termotolerantes

FECHA	HORA	SAL			STD			ST (mg/l)			SVT (mg/l)			CT (NMP/100ml)		
		Cap.	Ent.	Sal.	Cap.	Ent.	Sal.	Ent.	Sal.	%	Ent.	Sal.	%	Ent.	Sal.	%
24-06-16	16:00:00															
01-07-16	15:00:00															
07-07-16	16:00:00	0.5	0.4	0.5	489.0	465.0	482.0	549.2	455.8	17	162.1	72.9	55	7.70E+07	2.30E+07	70
14-07-16	12:00:00															
21-07-16	18:00:00															
29-07-16	10:00:00	0.5	0.5	0.5	451.0	463.0	460.0	564.5	479.8	15	166.1	86.4	48	9.40E+07	2.70E+07	71
04-08-16	16:00:00															
11-08-16	17:00:00															
18-08-16	16:00:00	0.5	0.5	0.5	449.0	456.0	451.0	487.5	429.0	12	113.6	77.2	32	3.20E+08	1.00E+08	69
25-08-16	15:00:00															
31-08-16	10:00:00	0.5	0.5	0.5	425.0	437.0	445.0	486.8	443.0	9	128.2	97.5	24	2.20E+08	7.20E+07	67

Max	0.6	0.6	0.6	607.0	572.0	582.0	564.5	479.8	22	167.3	97.5	67	7.80E+08	2.00E+08	74
Prom	0.5	0.5	0.5	491.8	452.2	491.3	526.5	442.3	16	150.6	75.4	48	2.64E+08	7.43E+07	71
Min	0.5	0.3	0.4	425.0	291.0	445.0	486.8	421.4	9	113.6	55.2	24	7.70E+07	2.30E+07	67

Tabla de resultados de la evaluación de la temperatura

Fecha	26/02/2016		18/03/2016		21/04/2016		26/05/2016		24/06/2016		07/07/2016		18/08/2016	
Hora	Cap	Reac												
06:00:00 a.m.	20	14	20	14	19	13	19	12	18	11	18	11	19	12
07:00:00 a.m.	20	15	20	16	19	14	19	13	18	11	18	11	19	14
08:00:00 a.m.	21	17	20	18	20	17	20	16	19	13	19	13	20	18
09:00:00 a.m.	21	19	21	19	20	19	20	18	19	18	19	18	20	20
10:00:00 a.m.	21	21	21	22	21	21	21	20	20	19	20	19	21	22
11:00:00 a.m.	22	23	21	23	21	23	21	22	20	21	20	21	21	24
12:00:00 p.m.	22	25	21	24	21	25	21	23	20	23	20	23	20	25
01:00:00 p.m.	22	25	22	25	21	25	21	24	20	24	20	24	20	25
02:00:00 p.m.	22	26	22	26	21	26	21	25	20	24	20	24	20	25
03:00:00 p.m.	22	26	22	26	21	26	21	25	20	24	20	24	19	24
04:00:00 p.m.	22	26	22	25	20	25	20	24	19	23	19	24	19	23
05:00:00 p.m.	21	25	21	24	20	24	20	23	19	23	19	23	19	22
06:00:00 p.m.	20	24	20	24	20	23	20	22	19	22	19	22	19	21
07:00:00 p.m.	20	23	20	22	20	22	20	21	19	21	19	21	20	19
08:00:00 p.m.	20	22	20	22	20	22	20	20	19	20	19	20	20	19
09:00:00 p.m.	20	22	20	21	20	22	20	20	19	20	19	20	20	18
10:00:00 p.m.	20	20	19	20	20	19	20	18	19	18	19	18	20	18

Continuación de la tabla de resultados de la evaluación de la temperatura

Fecha	26/02/2016		18/03/2016		21/04/2016		26/05/2016		24/06/2016		07/07/2016		18/08/2016	
Hora	Cap	Reac												
11:00:00 p.m.	20	19	19	19	19	18	19	17	18	17	18	17	19	17
12:00:00 a.m.	20	18	19	17	19	16	19	16	18	16	18	16	19	16
01:00:00 a.m.	19	17	19	15	19	14	19	13	18	14	18	14	19	15
02:00:00 a.m.	19	15	19	13	19	12	19	13	18	12	18	12	18	14
03:00:00 a.m.	19	13	19	11	18	11	18	10	17	10	17	10	18	13
04:00:00 a.m.	19	10	19	9	18	9	18	8	17	8	17	8	18	12
05:00:00 a.m.	19	9	19	8	18	8	18	8	17	7	17	8	18	12

T° min	19	9	19	8	18	8	18	8	17	7	17	8	18	12
T° prom.	20	20	20	19	20	19	20	18	19	17	19	18	19	19
T° max	22	26	22	26	21	26	21	25	20	24	20	24	21	25

ANEXO N° 06:
PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE DQO

ANALISIS DE DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

Preparación de soluciones estándar para curva de calibración

solución estándar: biftalato ácido de potasio

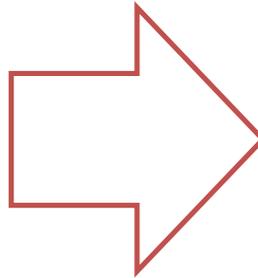
soluciones estándar:

Sol. 1	30	ppm	}
Sol. 2	60	ppm	
Sol. 3	100	ppm	
Sol. 4	160	ppm	

Sol. 5	300	ppm	}
Sol. 6	600	ppm	

procedimiento para digestión:

VIALES	AGREGAR	
	VOL. (ml)	DESCRIP.
1	2	Sol. 1
2	2	Sol. 2
3	2	Sol. 3
4	2	Sol. 4
Blanco	2	Agua destilada
Cap.	2	Cap.
ER	2	ER
SR	2	SR

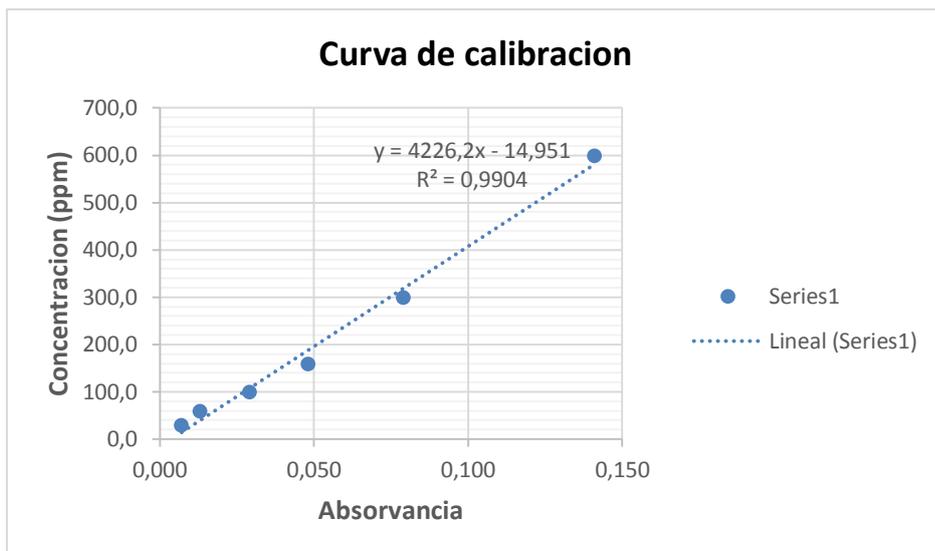


Digestar a
150°C
por 2 horas



Lectura en espectrofotómetro

PATRÓN	VOL. (ML)	VT(ML)	CONC. (PPM)
5	7.5	25	300
6	15	25	600



MUESTRA	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN (ppm)
Blanco	0	
1	0.007	30
2	0.013	60
3	0.029	100
4	0.048	160
5	0.079	300
6	0.141	600
Cap.	0.267	1113.4
ER	0.153	631.7
SR	0.082	331.6
Cap.	0.292	1219.1
ER	0.157	648.6
SR	0.114	466.8
cap.	0.322	1345.9
ER	0.224	931.7
SR	0.087	352.7
cap.	0.32	1337.4
ER	0.086	348.5
SR	0.075	302
cap.	0.238	990.9
ER	0.104	424.6
SR	0.078	314.7