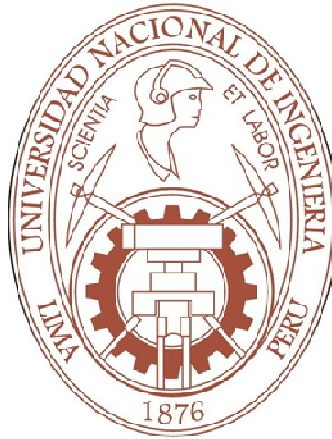


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE
TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE
(TSA) A ESCALA PILOTO”**

TESIS

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

**PRESENTADO POR:
BASTIDAS PALACIOS, WILLIAN
PALOMINO URIARTE, MARY ADELA**

**LIMA, PERÚ
2013**

DEDICATORIA:

Agradezco a mi familia por su esfuerzo y apoyo hacia mi persona. A mi padre Eladio Bastidas Carbajal, mi madre Marcelina Palacios Cangalaya y mis queridos hermanos: Ronald y Lino.

WILLIAN BASTIDAS PALACIOS

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, a mi hermana por la mano tendida y a dios por mi camino que guía.

MARY ADELA PALOMINO URIARTE

AGRADECIMIENTOS:

A la Msc. Ing. Rosa Yaya Beas, por brindarnos su apoyo incondicional y asesoramiento constante durante la realización de la presente tesis de investigación.

Al Ing. Job Miseas Herrera Villaizán, Asistente de tratamiento y disposición final de SEDAPAL, por su disposición, apoyo y asesoramiento constante.

Al Ing. Valery R. Mautino Cano, Jefe del Laboratorio N° 20 de la Facultad, por facilitarnos el uso de los materiales, reactivos y equipos del laboratorio.

Al Sr. Ricardo Andrés Jara Temple y a la Sra. Margarita Andreu Rivera, personal de apoyo del Laboratorio N° 20, por brindarnos su atención constante e incondicional.

RESUMEN

La presente tesis pretende estudiar la utilización del sistema Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) como una alternativa para el tratamiento primario. El sistema, diseñado a escala piloto fue evaluado en el tratamiento de las aguas residuales provenientes del colector Huaycán. Fueron construidos 3 reactores TSA1, TSA2 y TSA3 e instalados en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo (PTAR-Carapongo). Los reactores TSA se construyeron de PVC.

La investigación comprende el estudio de la inoculación, arranque, operación y mantenimiento de los reactores TSA. Y el estudio de los lodos producidos en los reactores TSA.

En el estudio del TSA se consideró como variable de diseño el periodo de retención hidráulico (PRH). Los reactores TSA se diseñaron para un caudal de 88.56 L/día.

El TSA 1 se diseñó para una PRH de 18 horas, el TSA 2 para un PRH de 15 horas y el TSA 3 para un PRH de 12 horas.

El sistema no presentó problemas en la operación alcanzando eficiencias en promedio superior al 50%, alcanzando un mínimo de 33.51% y un máximo de 81.15%. Durante la investigación el sistema tuvo diferentes condiciones de operación y mantenimiento como son: contaminación por desechos industriales y aumento brusco de caudal.

El TSA 1, TSA 2 y TSA 3 tienen una eficiencia promedio de 51.40%, 48.66% y 40.60% de remoción de DBO y 40.33%, 39.22% y 36.51% de remoción de DQO, respectivamente. El TSA 1 con un PRH de 18 horas es el más eficiente en remoción de DBO y DQO. A su vez el TSA1 soporta cambios de carga orgánica sin variar considerablemente la calidad de su efluente.

De los tres TSA, luego de la contaminación ocurrida en la investigación el que resulto menos afectado en la calidad del afluente que produce fue el TSA 3 y el que disminuyo más la calidad de su efluente es el TSA1 alcanzando una contaminación del 221.3%.

Respecto al estudio de los lodos anaerobios producidos por el sistema se realizó en 2 etapas.

La primera etapa se estudió el lodo anaerobio que produce los reactores TSA ubicados en la PTAR - Carapongo. Se encontró que el lodo presente en el TSA 3 presenta mayor velocidad de sedimentación en comparación con el TSA 2 y TSA 1.

La segunda etapa se estudió el lodo anaerobio que produce los reactores R1, R2 y UASB ubicados en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR-UNI). Se encontró que la Actividad metanogénica de lodos (AME) de los Reactores R1 y R2 es superior al encontrado en el UASB. R2 presenta 0.0052 g DQO de CH₄/ g de SSV. x d y R1 en promedio 0.0035 g DQO de CH₄/ g de SSV. x d.

La medición de la altura de la cama de lodos ubicados en el TSA se realizó mediante un muestreador y la medición de biogás producido en el TSA se realizó utilizando un tanque *mariotte*. La medición de la altura de la cama de lodos y la medición del biogás producido en el TSA requiere que se mejore la metodología.

INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	IV
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCION	1
CAPITULO II.....	3
DISEÑO DE LA INVESTIGACION	3
2.1 Identificación del problema.....	3
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.4 OBJETIVOS	4
2.4.1 Objetivo principal	4
2.4.2 Objetivos Secundarios:	4
2.5 HIPÓTESIS.....	5
2.6 VARIABLES DEL ESTUDIO	5
2.7 ANTECEDENTES.....	6
CAPITULO III	7
MARCO TEORICO.....	7
3.1ASPECTOS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS .7	
3.1.1 Composición De Las Aguas Residuales Domesticas	7
3.1.1.1 Características físicas del agua residual	8
3.1.1.2 Características químicas del agua residual	13
3.1.1.3 Características biológicas del agua residual.....	16
3.1.2 Clasificación De Los Métodos De Tratamiento De Las Aguas Residuales.....	17
3.1.3 Aplicación De Los Métodos De Tratamiento	18

3.2 PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO	18
3.3 TRATAMIENTO ANAERÓBIO	20
3.3.1 Variables Del Proceso De Tratamiento Anaerobio	20
3.3.2 Digestión Anaerobia.....	20
3.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USADAS EN EL PERU	25
3.4.1 Tanque Séptico.....	25
3.4.2 Tanque Imhoff.....	26
3.4.3 Lodos activados.....	27
3.4.4 Los Humedales.....	29
3.5 LEGISLACION EXISTENTE EN EL PERU.....	31
3.5.1 Constitución Política del Perú. 1993	31
3.5.2 Reglamento de la Ley Recursos Hídricos D.S. N°001-2010-AG (Publicado el 24 de marzo de 2010)	31
3.5.3 Ley de Recursos Hídricos-Ley 29338	31
3.5.4 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. (Decreto Supremo 003-2010-MINAM).....	33
3.5.5 Estándares de Calidad Ambiental para el Agua. (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM)	34
3.5.6 Norma OS090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	34
3.6 PLANTA DE TRATAMIENTO DE CARAPONGO	35
CAPITULO IV.....	37
REACTOR ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS	37
4.1 REACTOR ANAERÓBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS-UASB.....	37
4.1.1 Consideraciones básicas de diseño	39
4.2 TANQUE SÉPTICO AVANZADO (TSA).....	40
4.3 EXPERIENCIA CON LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS (TSA) EN ZONAS TROPICALES	43

4.3.1 Experiencia en la Universidad de Birzeit, en Palestina donde se trató las aguas residuales de la universidad mediante un Tanque Séptico Avanzado.....	43
4.3.2 Experiencia con los Tanques Sépticos Avanzados (TSA) a bajas temperaturas.....	47
CAPITULO V.....	50
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.....	50
5.1 UBICACIÓN DE LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS DE FLUJO ASCENDENTE.....	50
5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA PILOTO DE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA).....	51
5.3 FABRICACIÓN DE LA PLANTA TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA).....	53
5.3.1 Materiales.....	53
5.3.2 Herramientas.....	58
5.4. CRITERIOS DE DISEÑO:.....	58
5.4.1. Tanque Septico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA).....	58
CAPITULO VI.....	63
DESARROLLO DE LA INVESTIGACION.....	63
6.1 IMPLEMENTACIÓN DEL TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA).....	63
6.1.1 Caracterización del Agua Residual del Colector Huaycan.....	63
6.1.2 Composición del Lodo proveniente de CITRAR-UNI.....	64
6.1.3 Montaje e implementación de los reactores Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA).....	64
6.1.4 Inoculación y Puesta en Marcha de la Planta Piloto del Tanque Séptico Avanzados de Flujo Ascendente (TSA).....	70
6.2 MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD METANOGENICA DEL LODO DEL UASB 1 Y 2 UBICADO EN CITRAR-UNI.....	72
6.2.1 Metodología De Trabajo.....	75
6.2.1.1 Materiales.....	75

6.2.1.2 Variable de estudio.....	75
6.2.1.3 Etiquetado de las muestras	76
6.2.2 Procedimiento de Cálculo	82
6.2.2.1 Metodología 1.....	82
6.2.2.2 Metodología 2.....	83
6.3 PROGRAMA DE MONITOREO DE LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS DE FLUJO ASCENDENTE	84
6.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS DE FLUJO ASCENDENTE (TSA).....	85
6.4.1 Operación de los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA).....	85
CAPITULO VII.....	98
PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	98
7.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS VS TIEMPO	98
7.1.1 Parámetros físico químicos.....	98
7.1.1.1 Temperatura	98
7.1.1.2 pH.....	102
7.1.1.3Turbiedad	105
7.1.1.4Sólidos Totales	106
7.1.1.5 Sólidos Volátiles.....	108
7.1.1.6 Sólidos Suspendidos Totales	109
7.1.1.7 Sólidos sedimentables	111
7.1.2 Parámetros Biológicos	112
7.1.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	112
7.1.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	125
7.1.3 Parámetros Bacteriológicos	136
7.1.3.1Coliformes Totales	136
7.1.3.2 Coliformes Termotolerantes	136
7.1.3.3 Parásitos.....	137
7.1.4 Análisis de lodos de reactores TSA1, TSA2, TSA3, Reactor 1 y Reactor 2. .	137
7.1.4.1 Velocidad de Sedimentación	137
7.1.4.2 Índice Volumétrico de Lodos	138
7.1.4.3 Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles.....	138
7.1.4.4 Densidad y Porosidad	140

7.1.4.5 Viscosidad del lodo	141
7.1.4.6 Tamaño y forma.....	142
7.1.5 Actividad Metanogénica Específica de Lodos (AME).....	144
7.1.5.1 Actividad Metanogénica Específica de Lodos (AME) del 3 al 17 agosto del 2010	144
7.1.5.2 Actividad Metanogénica Específica de Lodos (AME) del 20 agosto al 2 de setiembre del 2012	144
7.1.5.3 Actividad Metanogénica Especifica de Lodos (AME) del 3 al 17 de noviembre del 2012	144
7.2 TENDENCIAS DE RESULTADOS – SISTEMA TSA.....	146
7.2.1 Tendencias Eficiencia remoción DQO vs. Temperatura.....	146
7.2.2 Tendencias Eficiencia remoción DBO vs. Temperatura	148
7.2.3 Tendencias Eficiencia remoción DQO vs. Periodo de Retención Hidráulico.	150
7.2.4 Tendencias Eficiencia remoción DQO vs. Período de Retención Hidráulico – del promedio.....	156
7.2.5 Tendencias Eficiencia remoción DBO vs. Periodo de Retención Hidráulico.	159
7.2.6 Tendencias Eficiencia remoción DBO vs. Periodo de Retención Hidráulico – del promedio.....	165
7.3 TENDENCIAS DE RESULTADOS – LODOS DE REACTORES UASB SEPTIC TANK.....	168
CAPITULO VIII.....	171
8.1 CONCLUSIONES	171
8.2 RECOMENDACIONES	174
CAPITULO IX.....	175
FUENTES DE INFORMACION	175
ANEXOS	177
1.1 ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO.....	177
ANEXO 2:	188
CUADROS Y GRÁFICOS USANDO LA METODOLOGIA 1 Y 2 PARA EL CALCULO DEL AME	188
CUADROS Y GRÁFICOS USANDO LA METODOLOGIA 1	188

CUADROS Y GRÁFICOS USANDO LA METODOLOGIA 2 _____ 200

ANEXO 3: LESGILACION EXISTENTE EN EL PERU _____ 202

3A.1 Constitución Política del Perú. 1993	202
3A.2 Reglamento de la Ley Recursos Hídricos D.S. N°001-2010-AG (Publicado el 24 de marzo de 2010)	202
3A.3 Ley de Recursos Hídricos-Ley 29338	202
3A.4 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. (Decreto Supremo 003-2010-MINAM)	204
3A.5 Estándares de Calidad Ambiental para el Agua. (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM)	205
3A.6 Norma OS090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.....	205

INDICE DE CUADROS

Cuadro 4. 1: Información básica de las aguas residuales necesarias para el diseño del reactor UASB. Cuadro extraído del Manual para el diseño de reactores UASB, Lettinga Asociados Fundación.....	40
Cuadro 4. 2: Datos y resultados obtenidos del estudio de tratamiento de aguas residuales mediante un TSA.	42
Cuadro 4. 3: Características de las aguas residuales de la Universidad Birzeit.	43
Cuadro 4. 4: Condiciones del Tanque Séptico Avanzado (TSA) de la Universidad de Birzeit en la puesta en marcha.....	46
Cuadro 4. 5: Condiciones y eficiencia promedio de tratamiento de los Tanques Sépticos Avanzados (TSA) en los Países Bajos.	48
Cuadro 3.A. 1: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR	203
Cuadro 3.A. 2: Riego Vegetales de tallo bajo y tallo alto.....	204
Cuadro 3.A. 3: Riego de Vegetales.....	204
Cuadro 3.A. 4: Guía para la selección de las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales según Reglamento Nacional de Edificaciones OS 090.....	205

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3. 1: Clasificación de los sólidos presentes en aguas residuales de concentración media. (Extraído del libro: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf, 2005).....	9
Gráfico 3. 2: Descomposición microbiológica de la materia orgánica (Cuadro adaptado del libro Tratamiento de Aguas residuales, Jairo A. Romero R)	19
Gráfico 3. 3: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos (Pavlosthatis y Giraldo –Gomez, 1991) Los números indican la población bacteriana responsable de cada proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas. (Figura extraída del libro Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process, Nuria Martí Ortega, 2006)	21
Gráfico 3. 4: Simplificación de la ruta metabólica de Embden-Meyerhof de degradación de la glucosa de por las bacterias acidogénicas. (Figura extraída del libro Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process, Nuria Martí Ortega, 2006)	23
Gráfico 3. 5: Vista de corte de un tanque Imhoff.	27
Gráfico 3. 6: Microorganismos comunes del proceso de lodos activados.....	28
Gráfico 3. 7: Esquema de los procesos convencionales de lodos activados.	28
Gráfico 3. 8: Conjunto de procesos que involucra el tratamiento de aguas residuales de la PTAR Carapongo de SEDAPAL.....	36
Gráfico 6. 1: Curva de la disminución de dilución del agua residual durante el Arranque.....	71
Gráfico 6. 2: Evolución del arranque de los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA).....	72
Gráfico 7. 1: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del afluente de Abril a Diciembre del 2010	99
Gráfico 7. 2: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del efluente (TSA 1) de Abril a Diciembre del 2010	100
Gráfico 7. 3: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del efluente (TSA 2) de Abril a Diciembre del 2010	100

Gráfico 7. 4: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del efluente (TSA 3) de Abril a Diciembre del 2010	101
Gráfico 7. 5: Valores promedio y desviación estándar del pH del afluente de Abril a Diciembre del 2010.....	102
Gráfico 7. 6: Valores promedio y desviación estándar del pH del efluente (TSA 1) de Abril a Diciembre del 2010	103
Gráfico 7. 7: Valores promedio y desviación estándar del pH del efluente (TSA 2) de Abril a Diciembre del 2010	103
Gráfico 7. 8: Valores promedio y desviación estándar del pH del efluente (TSA 3) de Abril a Diciembre del 2010	104
Gráfico 7. 9: Evolución de la eficiencia de remoción de sólidos totales para TSA1, TSA2 y TSA3.....	107
Gráfico 7. 10: Evolución de la eficiencia de remoción de sólidos volátiles para TSA1, TSA2 y TSA3.....	109
Gráfico 7. 11: Evolución de la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales para TSA1, TSA2 y TSA3.....	110
Gráfico 7. 12: Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno al ingreso y salida del TSA1 durante la investigación.....	113
Gráfico 7. 13: Evolución de la Eficiencia de remoción de DBO del TSA1 durante la investigación.....	114
Gráfico 7. 14: Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno al ingreso y salida del TSA2 durante la investigación.....	117
Gráfico 7. 15: Evolución de la Eficiencia de remoción de DBO del TSA2 durante la investigación.....	118
Gráfico 7. 16: Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno al ingreso y salida del TSA3 durante la investigación.....	121
Gráfico 7. 17: Evolución de la Eficiencia de remoción de DBO del TSA3 durante la investigación.....	122
Gráfico 7. 18: Evolución de la Demanda Química de Oxígeno al ingreso y salida del TSA1 durante la investigación.....	127
Gráfico 7. 19: Evolución de la Eficiencia de remoción de DQO del TSA1 durante la investigación.....	128
Gráfico 7. 20: Evolución de la Eficiencia de remoción de DQO del TSA1 durante la investigación.....	131

Gráfico 7. 21: Evolución de la Demanda Química de Oxígeno al ingreso y salida del TSA3 durante la investigación.....	133
Gráfico 7. 22: Evolución de la Eficiencia de remoción de DQO del TSA3 durante la investigación.....	134
Gráfico 7. 23: Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales durante la investigación.....	139
Gráfico 7. 24: Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Volátiles durante la investigación.....	140
Gráfico 7. 25: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Temperatura para el TSA1 (PRH=18 horas).	146
Gráfico 7. 26: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Temperatura para el TSA2 (PRH=15 horas).	147
Gráfico 7. 27: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Temperatura para el TSA3 (PRH=12 horas).	147
Gráfico 7. 28: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Temperatura para el TSA1 (PRH=18 horas).	148
Gráfico 7. 29: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Temperatura para el TSA2 (PRH=15 horas).	149
Gráfico 7. 30: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Temperatura para el TSA3.....	149
Gráfico 7. 31: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 14 de julio del 2010.....	150
Gráfico 7. 32: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 27 de julio del 2010.....	151
Gráfico 7. 33: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 02 de agosto del 2010.	151
Gráfico 7. 34: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 05 de agosto del 2010.	152
Gráfico 7. 35: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 11 de agosto del 2010.	152
Gráfico 7. 36: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 19 de agosto del 2010.	153
Gráfico 7. 37: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 26 de agosto del 2010.	153

Gráfico 7. 38: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 10 de setiembre del 2010.	154
Gráfico 7. 39: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 21 de setiembre del 2010.	154
Gráfico 7. 40: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 06 de octubre del 2010.	155
Gráfico 7. 41: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 29 de octubre del 2010.	155
Gráfico 7. 42: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 03 de diciembre del 2010.	156
Gráfico 7. 43: Curva obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.....	156
Gráfico 7. 44: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante el evento 1 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.	157
Gráfico 7. 45: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante el evento 2 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.	157
Gráfico 7. 46: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante el evento 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.	158
Gráfico 7. 47: Comparación entre las curvas obtenidas del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante los evento 1, 2 y 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.....	158
Gráfico 7. 48: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 14 de julio del 2010.....	159
Gráfico 7. 49: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 15 de julio del 2010.....	159

Gráfico 7. 50: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 06 de agosto del 2010.	160
Gráfico 7. 51: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 19 de agosto del 2010.	160
Gráfico 7. 52: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 20 de agosto del 2010.	161
Gráfico 7. 53: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 10 de setiembre del 2010.	161
Gráfico 7. 54: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 15 de setiembre del 2010.	162
Gráfico 7. 55: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 07 de octubre del 2010.	162
Gráfico 7. 56: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 08 de octubre del 2010.	163
Gráfico 7. 57: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 15 de octubre del 2010.	163
Gráfico 7. 58: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 20 de octubre del 2010.	164
Gráfico 7. 59: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 02 de noviembre del 2010.	164
Gráfico 7. 60: Curva obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.....	165
Gráfico 7. 61: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante el evento 1 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.	165

Gráfico 7. 62: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante el evento 2 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.	166
Gráfico 7. 63: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante el evento 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.	166
Gráfico 7. 64: Comparación entre las curvas obtenidas del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante los evento 1, 2 y 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.....	167
Gráfico 7. 65: Comparación de velocidad de sedimentación vs Porosidad del lodo del Reactor 1	168
Gráfico 7. 66 : Comparación de velocidad de sedimentación vs Porosidad del lodo del Reactor 2.....	168
Gráfico 7. 67: Comparación del inicio y final del ame para cada reactor UASB, R1, R2	169
Gráfico 7. 68 : Comparación del inicio y final del AME para cada reactor UASB, R1, R2. Segunda fecha de realización de AME, calculado con metodología 1.	169
Gráfico 7. 69: Comparación del inicio y final del ame para cada reactor UASB, R1, R2 Segunda fecha de realización de AME, calculado con metodología 2.	170
Gráfico A.2. 1: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de gas metano acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.9029.....	189
Gráfico A.2. 2: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de biogas acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.9431.	190
Gráfico A.2. 3: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de biogás acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.8937.	191
Gráfico A.2. 4: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de gas metano acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.9547.	192
Gráfico A.2. 5: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de biogás acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.9824.	193
Gráfico A.2. 6: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de biogás acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.9826.	194

Gráfico A.2. 7: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de biogás acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.9524.	195
Gráfico A.2. 8: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de gas metano acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.9277.	196
Gráfico A.2. 9: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de gas metano acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.919.	197
Gráfico A.2. 10: La curva azul en el GRÁFICO muestra la producción de gas metano acumulado. La ecuación obtenida de la línea tendencia (color negro) tiene R^2 de 0.889.	199

INDICE DE FIGURAS

Figura 4. 1: Se aprecia las diferentes fases que conforma un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB). Figura adaptada, extraída de la pagina Web http://www.uasb.org	38
Figura 4. 2: Flujograma típico de una PTAR usando UASB. Extraído del libro: Reutilización de aguas residuales, incluido el desarrollo de tecnologías de tratamiento para este propósito (Programa de Investigación en Saneamiento Básico –PROSAB).....	38
Figura 4. 3: Se muestra el Tanque Séptico Avanzado (TSA) aplicado en Indonesia.....	42
Figura 4. 4: Esquema donde se muestra el tanque séptico avanzado (TSA) y tanque de almacenamiento ($V=1.5 \text{ m}^3$).....	45
Figura 4. 5: Esquema del tanque séptico avanzado (TSA) de 0.4 m^3	46
Figura 5. 1: Ubicación de la planta Piloto de Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente dentro de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo.....	50
Figura 5. 2: Ubicación de la planta Piloto de Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente.....	51

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 3. 1: (a) A la izquierda se muestra los sólidos del agua residual proveniente del colector Huaycan sedimentados en el tanque de alimentación del TSA. (b) A la derecha se observa filtrado de lodos provenientes del TSA.	10
Foto 3. 2: A la izquierda se muestra los sólidos sedimentables del agua residual proveniente del colector Huaycan.	11
Foto 3. 3: (a) A la izquierda se muestra aguas residuales del colector Huaycan con presencia de otros residuos. (b) A la derecha se muestra aguas residuales del colector Huaycan sin presencia de otros residuos.....	13
Foto 3. 4 : La flecha roja indica los insumos usados para el análisis de la DBO.	14
Foto 3. 5: Se muestra medición de pH en campo.	16
Foto 3. 6: Planta de tratamiento lodos activados para el Hotel Libertador Paracas (Ica, Perú).....	29
Foto 3. 7: Humedal construido en CITRAR-UNI (ex UNITRAR) ubicado en la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, Perú.	30
Foto 5. 1: Vista de la planta TSA a escala piloto.	53
Foto 5. 2: Vista frontal del Tanque de Alimentación. (1)Salida del afluente del reactor.	54
Foto 5. 3: Se aprecia el interior del Tanque de alimentación. (1)Salida del afluente del reactor. (2)Flotador Esférico con varilla de bronce de 3/8". (3)Tubería de purga.	55
Foto 5. 4: Tanque de alimentación lleno. (4) Malla mosquitera de plástico.	55
Foto 5. 5: Sistema de distribución. (1) Tubería de PVC de 1/2" para la distribución de los 3 reactores. (2) Grifos de 3/8". (3) Mangueras látex de 3/8".	56
Foto 5. 6: Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente. (1) Embudo de plástico N°20. (2) Tubería de 10 pulgadas.....	57
Foto 5. 7: Tanque Almacenamiento. (1) Bomba de agua de 0.5HP. (2) Tanque de 200 litros de plástico.	57
Foto 5. 8: (1) Dispositivo separador de fases.	62
Foto 5. 9: (1) Deflector adosado alrededor del reactor.	62

Foto 6. 1: En la fotografía se observa el piloto de TSA 1, 2 y 3 ubicado en la PTAR Carapongo – Sedapal.....	69
Foto 6. 2: En la fotografía se observa la extracción del lodo proveniente del UASB ubicado en CITRAR-UNI.	70
Foto 6. 3: Se aprecia el llenado del lodo en los TSA el cual alcanza 14.2 cm de altura.	70
Foto 6. 4: Vista fotográfica de los reactores utilizados para la prueba de actividad metanogénica específica, estas son: UASB-CS, UASB-SS, R1-SS _(A y B) , R2-SS _(A y B) , R1-CS _(A y B) y R2-CS _(A y B)	77
Foto 6. 5: Se realizó el vertido de lodo anaerobio de: (a) y (b) que consiste en el lodo extraído de Reactor 1 y 2, respectivamente; (c) consiste en el lodo extraído del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente de CITRAR-UNI.....	78
Foto 6. 6: Se muestra el sellado hermético de un reactor. El frasco se une a la manguera de silicona en forma de “Y” mediante una aguja hipodérmica N° 16. La junta entre el frasco y la manguera de silicona se cubre con papel film.....	79
Foto 6. 7: Se muestra los 4 reactores AME instalados sobre una repisa de madera.	79
Foto 6. 8: Se muestra la solución de NaOH sin azul de timol y luego de verterse el indicador.	80
Foto 6. 9: La foto de la izquierda se aprecia el frasco de 1000 mL con la solución de NaOH después de vertido el azul de timol. La foto de la derecha muestra el frasco ya colocado en el soporte universal el cual tendrá la función de mantener los frascos de agua invertidos y dirigidos hacia las probetas. Para hermetizar el frasco se realiza el mismo procedimiento que el descrito en la fotografía 6.6. ...	80
Foto 6. 10 : En el círculo rojo se observa la manguera usada para purgar.....	81
Foto 6. 11: La fotografía de la izquierda muestra la captación de agua residual proveniente del colector Huaycan. El círculo rojo N°1 indica la ubicación de la bomba sumergible y el círculo N°2 indica la ubicación del timer. En la fotografía de la derecha se muestra el desnivel máximo que se consigue con el bombeo del desagüe.....	86
Foto 6. 12: Se aprecia el timer.	87
Foto 6. 13: En la fotografía de la izquierda se aprecia la tubería de limpieza y rebose. En la fotografía de la derecha se aprecia el lodo acumulado en el tanque de almacenamiento.	88

Foto 6. 14: La fotografía de la izquierda muestra el grifo general con el cual se puede cerrar el ingreso de desagüe a los TSA. La fotografía de la derecha se aprecia la trampa de solidos que se construyo para evitar el ingreso de solidos a los TSA.....	89
Foto 6. 15: En la fotografía de la izquierda se muestra el grifo que se uso para purga el sistema de distribución. La fotografía de la derecha se muestra la ventilación del sistema de distribución su función es eliminar el aire dentro del sistema de distribución.	89
Foto 6. 16: Se visualiza los 3 grifos que son aforados para controlar el caudal que ingresa a los TSA.....	90
Foto 6. 17: En la fotografía de la izquierda se muestra la medición del Ph. En la fotografía de la derecha se visualiza los grifos que son puntos de muestreo del TSA 1, TSA2, TSA3.....	91
Foto 6. 18: La fotografía de la izquierda muestra la llave térmica ABBC32 con el cual se prende y apaga la bomba de agua. La fotografía de la derecha muestra la ubicación del tanque donde se almacena el afluente de los TSA y la bomba de agua.....	92
Foto 7. 1: Se muestra lodo proveniente del TSA1. La forma del flóculo es ovalada.....	142
Foto 7. 2: Se muestra lodo proveniente del TSA2. La forma del flóculo es ovalada.....	143
Foto 7. 3: Se muestra lodo proveniente del TSA3. La forma del flóculo es ovalada.....	143
Foto A1. 1: Se muestra los Tanques Sépticos Avanzado (TSA) culminado su construcción.	177
Foto A1. 2: Se muestra el separador de fases adaptado de un embudo por medio del cual se ingresa una manguera de látex cuyo extremo inferior llega al manto de lodos y la parte superior esta sujetado al techo del TSA.....	178
Foto A1. 3: Se muestra un punto de muestreo del TSA. Se adapto el cuerpo de un lapicero, manguera látex y tranquera para lograrlo.	178
Foto A1. 4: Se puede observar el retiro de lodo anaerobio del UASB ubicado en CITRAR-UNI.....	179

Foto A1. 5: Se observa la instalación de los TSA dentro de la instalación de la PTAR-Carapongo de SEDAPAL.....	179
Foto A1. 6: Se muestra una posible contaminación con desechos industriales que han ingresado en el TSA durante el bombeo de aguas residuales.....	180
Foto A1. 7: Se muestra una posible contaminación con desechos industriales que han ingresado en el tanque de almacenamiento durante el bombeo de aguas residuales.....	180
Foto A1. 8: Efluente de los TSA cuando ocurrió una contaminación con desechos industriales.	181
Foto A1. 9: Se aprecia los sólidos acumulados en el separador de fases en el mantenimiento del TSA.....	181
Foto A1. 10: Medición del pH en campo.	182
Foto A1. 11: Vista del tanque de alimentación.	182
Foto A1. 12: Vista de planta del tanque de alimentación. Se aprecia el rebose y la tubería de alimentación.....	183
Foto A1. 13: Retiro de lodo de los TSA para la realización de la prueba de actividad metanogénica específica de lodos para TSA1, TSA2 y TSA3 ubicados en la PTAR-Carapongo.....	183
Foto A1. 14: Monitoreo de la velocidad de sedimentación de los lodos extraídos de los TSA1, TSA2 y TSA3.....	184
Foto A1. 15: Medición de la altura de cama de lodos en el TSA1 ubicado en la PTAR-Carapongo.	184
Foto A1. 16: Observación microscópica de los lodos extraídos de los TSA1, TSA2 y TSA3 ubicado en la PTAR-Carapongo.....	185
Foto A1. 17: Medición del biogás producido en los TSA1, TSA2 y TSA3 ubicado en la PTAR-Carapongo.....	185
Foto A1. 18: Medición de la DBO en el laboratorio N°20 de la Universidad Nacional de Ingeniería.....	186
Foto A1. 19: Toma de muestra y medición de altura de lodos en el UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI.....	187
Foto A1. 20: Roturado de frascos para llevar al laboratorio y medición de la velocidad de sedimentación para los lodos extraídos del UASB 1 y 2 ubicados en CITRAR-UNI.....	187

INDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 : Composición típica del agua residual domestica crudo. Extraída del libro: Ingeniería de Aguas Residuales (Metcalf, 2005)	7
Tabla 6. 1. Caracterización del efluente del colector Huaycan.....	63
Tabla 6. 2: Caracterización del efluente que ingresa a las rejjas mecanizadas de la PTAR Carapongo y obtenido de la mezcla del desagüe del colector Huaycan y Chosica.....	63
Tabla 6. 3: Caracterización del lodo anaerobio proveniente del UASB ubicado en CITRAR-UNI.....	64
Tabla 6. 4: Montaje e implementación de los reactores Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA), descripción, problemas y las soluciones encontradas durante la investigación.....	64
Tabla 6. 5: Descripción del piloto de TSA, ventajas y desventajas encontradas durante la investigación.	69
Tabla 6. 6: Realización de la medición de la actividad metanogénica de lodos (AME), descripción y resultados obtenidos durante la investigación.	73
Tabla 6. 7: Montaje e implementación de los reactores pilotos para la realización de la actividad metanogénica de lodos (AME), descripción, problemas y las soluciones encontradas durante la investigación.	74
Tabla 6. 8: Materiales utilizados para las pruebas de medición de la actividad metanogénica de los lodos (AME).	75
Tabla 6. 9: Tabla de Factores de Conversión para el cálculo del contenido de DQO en el gas metano (A presión atmosférica igual a nivel del mar). Extraído del artículo “Parámetros operativos del reactor de manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente (DET 1994), autor Jim Field”.....	82
Tabla 6. 10: Parámetros de Monitoreo de los Tanque Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente.....	84
Tabla 6. 11: Programa de Mantenimiento de los Tanque Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA).....	93
Tabla 7.1. 1: Valores Máximo, Mínimo y Promedio de Temperatura – Evaluación Sistema TSA.....	99
Tabla 7.1. 2: Valores Máximo, Mínimo y Promedio de pH – Evaluación Sistema TSA.	102

Tabla 7.1. 3: Valores de Turbiedad – Evaluación Sistema TSA.	105
Tabla 7.1. 4: Valores Máximo, Mínimo y Promedio de Turbiedad – Evaluación Sistema TSA.....	106
Tabla 7.1. 5 Valores de Sólidos Totales – Evaluación Sistema TSA.....	106
Tabla 7.1. 6: Valores de Sólidos Volátiles – Evaluación Sistema TSA.	108
Tabla 7.1. 7: Valores de Sólidos Suspendedos Totales – Evaluación Sistema TSA.	109
Tabla 7.1. 8: Valores de Sólidos Sedimentables – Evaluación Sistema TSA. ..	111
Tabla 7.1. 9: Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.	112
Tabla 7.1. 10: Eficiencias de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.	112
Tabla 7.1. 11: Valores de Demanda Química de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.	125
Tabla 7.1. 12: Eficiencias de remoción de Demanda Química de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.	126
Tabla 7.1. 13: Valores de la Alcalinidad en el Afluente y Efluente del UASB 1 y UASB 2.....	135
Tabla 7.1. 14: Valores de la Alcalinidad en el Afluente y Efluente y Eficiencias de Remoción de Alcalinidad del UASB 1 y UASB 2.....	136
Tabla 7.1. 15: Valores de Coliformes Totales – Evaluación Sistema TSA.....	136
Tabla 7.1. 16: Valores de Coliformes Termotolerantes – Evaluación Sistema TSA.	136
Tabla 7.1. 17: Valores de Parásitos – Evaluación Sistema TSA.	137
Tabla 7.1. 18: Valores de Velocidad de Sedimentación – Lodo de TSA1, TSA2 y TSA3 ubicado en la PTAR Carapongo realizado a diferentes periodos de retención hidráulico.....	137
Tabla 7.1. 19: Valores de Velocidad de Sedimentación – Lodo del Reactor 1 y 2 ubicado en CITRAR-UNI realizado a diferentes períodos de retención hidráulico.	138
Tabla 7.1. 20: Valores de Índice Volumétrico de Lodos – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI.....	138
Tabla 7.1. 21: Valores de Índice Volumétrico de Lodos – Lodo de UASB 2 para 10 y 30 minutos ubicado en CITRAR-UNI.....	138

Tabla 7.1. 22: Valores de Sólidos Suspendidos Totales – Lodo de UASB 1 y 2 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.....	139
Tabla 7.1. 23: Valores de Sólidos Suspendidos Volátiles – Lodo de UASB 1 y 2 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.....	140
Tabla 7.1. 24: Valores de Densidad y Porosidad – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.	140
Tabla 7.1. 25: Valores de Densidad y Porosidad – Lodo de UASB 2 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.	141
Tabla 7.1. 26: Valores de Densidad – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 4 de mayo del 2012.....	141
Tabla 7.1. 27: Valor de Viscosidad – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 4 de mayo del 2012.....	142
Tabla 7.1. 28; Se indican los resultados del AME obtenidos utilizando la metodología 1 para los puntos de muestreo UASB y R1.	144
Tabla 7.1. 29; Se indica la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) obtenidos el 3 de noviembre de 2012.	144
Tabla 7.1. 30: Se indica la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) obtenidos el 17 de noviembre de 2012 en los frascos con lodo.....	145
Tabla 7.1. 31: Indica los resultados obtenidos utilizando las metodologías 1 y 2 para los puntos de muestreo UASB, R1 y R2 con intervención de la solución de NaOH en la medición del biogás.....	146
Tabla A.2. 1: Se indica la producción diaria de metano obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto UASB-CS.....	188
Tabla A.2. 2: Se indica la producción diaria de biogás obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto UASB-SS.....	189
Tabla A.2. 3: Se indica la producción diaria de biogás obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R1-SS _(A)	190
Tabla A.2. 4: Se indica la producción diaria de biogás obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R1-SS _(B)	191

Tabla A.2. 5: Se indica la producción diaria de biogás obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R2-SS _(A)	192
Tabla A.2. 6: Se indica la producción diaria de biogás obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R2-SS _(B)	193
Tabla A.2. 7: Se indica la producción diaria de metano obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R1-CS _(A)	195
Tabla A.2. 8: Se indica la producción diaria de metano obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R1-CS _(B)	196
Tabla A.2. 9: Se indica la producción diaria de metano obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R2-CS _(A)	197
Tabla A.2. 10: Se indica la producción diaria de metano obtenido del 3 de noviembre de 2012 al 17 de noviembre de 2012 para el piloto R2-CS _(B)	198
Tabla A.2. 11: Se indica los resultados de las pruebas de medición de la actividad metanogénica específica de lodo (AME) obtenidos usando la metodología 2 en los frascos con lodo M1, M2, M3, M4, M5 y M6.	200
Tabla A.2. 12: Valores de Distancia vs Tiempo para el lodo anaerobio extraído del UASB1 ubicado en CITRAR-UNI.	200

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

CAPITULO I

INTRODUCCION

La presente tesis pretende estudiar la utilización del sistema Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) como una alternativa para el tratamiento primario. La tesis esta dividida en ocho capítulos.

En el Capítulo II, se explica los motivos por el cual se ha pretendido realizar el estudio del sistema TSA. Además, usted encontrara los objetivos trazados, la hipótesis de nuestra investigación, las variantes que fueron monitoreados: parámetros físicos, fisicoquímicos y bacteriológicos.

Para la elección de las variables de estudio de la tesis se toma en cuenta trabajos de investigación en tratamiento de aguas residuales utilizando esta tecnología, en países como Palestina y Países Bajos.

En el Capítulo III se indica los conceptos importantes a tener en cuenta para entender como se realiza el tratamiento de las aguas residuales, las cuales son: características de las aguas residuales domésticas, legislación vigente, desarrollo histórico de las aguas residuales en el Perú, clasificación de los métodos de tratamiento de las aguas residuales, tipos de tratamiento y digestión anaerobia.

En el Capítulo IV se describirá las tecnologías existentes en el país para el tratamiento de aguas residuales, se enfatizara en las tecnologías que involucren procesos anaerobios. Se estudiara a profundidad el sistema UASB.

En el Capítulo V se describe la metodología de la investigación desde la ubicación del piloto, construcción e instalación de los TSA, se explica los criterios de diseño del TSA y se presenta los cálculos del diseño.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

En el Capítulo VI se indica el proceso que ha tomado la inoculación, puesta en marcha, operación y mantenimiento del piloto y el monitoreo de los TSAs durante los meses de desarrollo de la tesis. También se realiza estudio del lodo de sus características físicas y fisicoquímicas.

En el Capítulo VII se presenta el análisis de los resultados de los sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, DBO, DQO, temperatura, pH. También se realizó análisis del lodo de porosidad, densidad, microscópico, AME, Índice volumétrico del lodo, velocidad de sedimentación.

CAPITULO II

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

2.1 Identificación del problema

Las pequeñas comunidades que se encuentran a 1 km de un sistema de alcantarillado, también requieren de un tratamiento de aguas residuales.

Entre los sistemas de tratamiento para pequeñas comunidades se tiene al tanque séptico y tanque Imhoff, los cuales poseen una baja eficiencia de remoción de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) debido a que en dichos sistemas de tratamiento no se consigue una adecuada interacción entre los microorganismos y la materia orgánica.

Actualmente para las pequeñas comunidades se busca un tratamiento de fácil operación y bajo costo.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de proteger la salud pública; debiendo descontaminar las fuentes de agua implementando sistemas de tratamiento primario de bajo costo para realizar su reutilización y/o vertimiento, nos lleva a investigar sobre nuevas tecnologías en los sistemas de tratamiento primario para pequeñas comunidades.

2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En nuestro país, de acuerdo a la información encontrada, se han desarrollado pocas investigaciones sobre sistemas de tratamientos anaerobios a pesar que la digestión anaerobia es más económica y genera poco lodo.

El empleo de procesos de digestión anaeróbica ofrece una alternativa para el tratamiento de desagües domésticos ya que posee un medio de contacto

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

donde un conjunto de microorganismos conforman manto de lodos capaz de remover la materia orgánica presente en el agua.

En el presente trabajo de investigación se realizará tres tanques sépticos avanzados de flujo ascendente a escala piloto con la finalidad de estudiar la puesta en marcha, arranque, actividad metanogénica del lodo y estudio del tanque séptico avanzado de flujo ascendente durante 8 meses, esto es importante debido a que nos permitirá conocer sus ventajas y de esta manera saber en cuánto puede contribuir para el tratamiento de aguas residuales.

Se analizará el comportamiento del reactor a diferentes periodos de retención hidráulica (PRH), con diferentes parámetros de medición como son: demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales y volátiles para el afluente y efluente. La actividad metanogénica específica también será medida; para lograr un óptimo diseño de una planta de tratamiento anaerobio basado en la tecnología de los UASB tanque séptico.

2.4 OBJETIVOS

2.4.1 Objetivo principal

- Estudio del Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente a escala piloto para el tratamiento en el lugar de aguas residuales. Con énfasis en la eficiencia del sistema trabajando con carga alta a diferente periodo de retención hidráulico.

2.4.2 Objetivos Secundarios:

- Establecer los parámetros óptimos para el diseño del tratamiento primario de una planta de tratamiento anaerobio basado en la tecnología del Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente a alta carga.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

- Monitoreo de los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA) durante la puesta en marcha, arranque y funcionamiento durante 8 meses.
- Determinar el periodo de retención hidráulica óptima considerando el mismo afluente para los tres TSA.
- Determinar la actividad metanogénica específica del lodo formado en cada uno de los TSA.

2.5 HIPÓTESIS

La hipótesis de nuestra investigación indica que el tratamiento de desagües domésticos mediante Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) debería producir:

- El tratamiento de aguas residuales empleando el tratamiento con Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) se obtendrá una remoción de la DBO mayores al 70%.
- El Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) puede lograr una buena eficiencia a alta carga como sucede en baja carga de materia orgánica.
- En diferentes periodos de retención hidráulica (PRH) a mayor PRH la eficiencia mejora.
- La característica del lodo que se formará será semejante para distintos periodos de retención.

2.6 VARIABLES DEL ESTUDIO

Para nuestra investigación se ha considerado de acuerdo a los indicadores de contaminación las siguientes variables:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 Total (DBO5 total).**
- **Demanda Química de Oxígeno Total (DQO total).**
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST).**
- **Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).**
- **PH.**

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

- **Temperatura**
- **Actividad Metanogénica Específica del Lodo.**
- **Sedimentabilidad.**

2.7 ANTECEDENTES

Se han encontrado evidencias de trabajos de investigación con respecto al tratamiento de aguas residuales utilizando esta tecnología, de la cual se hace mención:

En la ciudad de Palestina se realizó un estudio piloto de Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) para el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad de Birzeit (Mahmoud, 2005). Los TSA se evaluaron a diferentes condiciones de funcionamiento. Los resultados de los primeros meses indicaron que la eliminación de los contaminantes orgánicos se debió principalmente a procesos biofísicos como la sedimentación y la degradación microbiana. Durante la fase de puesta en marcha se obtuvo una eficiencia de remoción de Demanda Química de Oxígeno Total (DQO) de 80% demostrando que el sistema de tratamiento es eficaz en la remoción de materia orgánica.

Existen investigaciones realizadas en el norte de Europa (Países Bajos) a condiciones de baja temperatura (Luostarinen, 2005). Se estudio el rendimiento del manto de lodo de tres TSA. Los TSA fueron monitoreados a diferentes condiciones de operación y temperatura. La eficiencia de remoción de la Demanda Química Orgánica (DQO) inicialmente fue negativa pero mejoro a medida que los lodos se adaptaron a la baja temperatura.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

CAPITULO III

MARCO TEORICO

3.1 ASPECTOS GENERALES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

3.1.1 Composición De Las Aguas Residuales Domesticas

Se clasifica los componentes de las aguas residuales según el aspecto físico, químico o bajo el aspecto biológico.

Tabla 3. 1 : Composición típica del agua residual domestica crudo. Extraída del libro: Ingeniería de Aguas Residuales (Metcalf, 2005)

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Solidos Totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Solidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Solidos Sedimentables	mg/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20°C (DBO5, 20°C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrogeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fosforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfato	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO3)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	nº/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos Orgánicos volátiles	µg/l	<100	100-400	>400

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

3.1.1.1 Características físicas del agua residual

Los aspectos físicos dan una información muy clara de determinadas características del agua residual.

Una característica importante es la cantidad de sólidos. El contenido de sólidos en el agua residual engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta (Metcalf, 1998).

Otras características físicas importantes son el olor, temperatura, la densidad, el color y la turbiedad (Metcalf, 1998).

a) Sólidos totales

Se define el contenido de sólidos totales a la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

La fracción filtrable (no diluida) de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. En el agua la cantidad de sólidos coloidales y en suspensión se incrementan con el grado de polución. El lodo representa un caso diferente en el que la mayor parte de la materia sólida está no diluida y la parte disuelta es poca.

Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

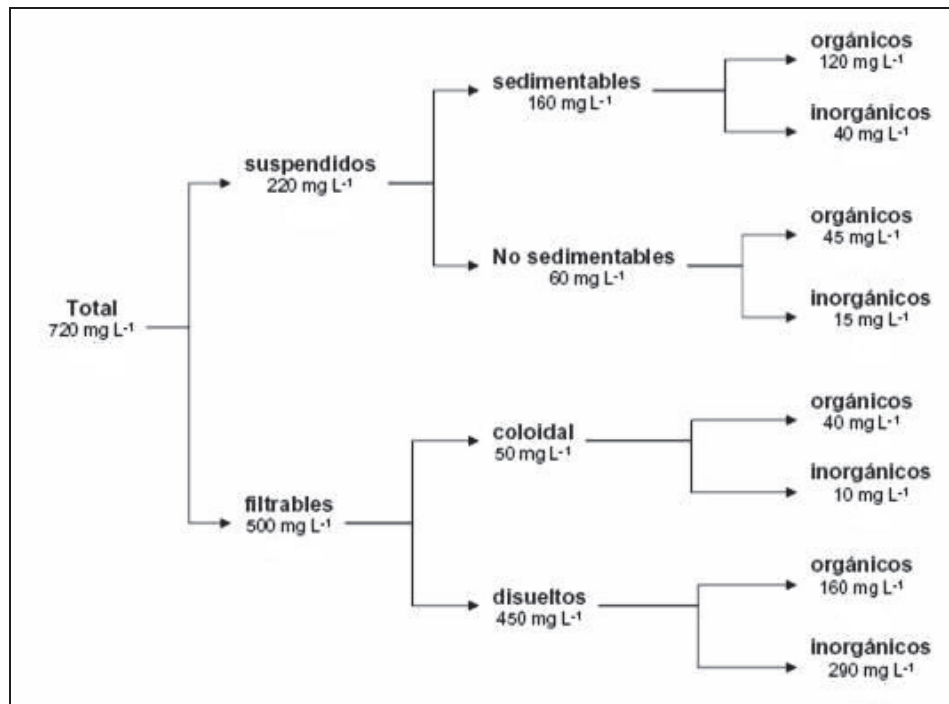


Gráfico 3. 1: Clasificación de los sólidos presentes en aguas residuales de concentración media. (Extraído del libro: Ingeniería de Aguas Residuales, Metcalf, 2005)

Para el caso del Colector Huaycan los sólidos predominantes son los sólidos suspendidos.

A continuación se muestra la fotografía 3.1 tomada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo en el lugar donde está instalado el Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) que muestran los sólidos sedimentables y lodo encontrados en el tanque de alimentación del TSA y en el TSA respectivamente.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

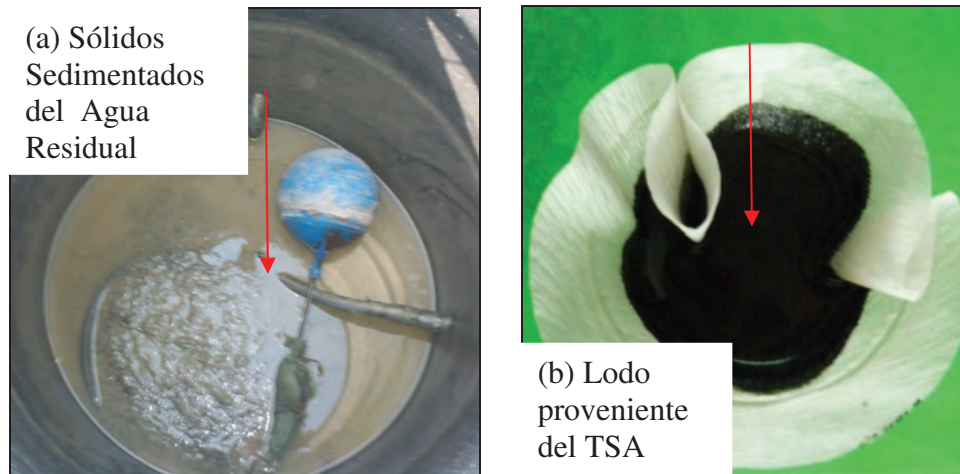


Foto 3. 1: (a) A la izquierda se muestra los sólidos del agua residual proveniente del colector Huaycan sedimentados en el tanque de alimentación del TSA. (b) A la derecha se observa filtrado de lodos provenientes del TSA.

b) Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Solamente la materia gruesa suspendida con una gravedad específica mayor que la del agua sedimentara.

Los sólidos sedimentables se expresan en unidades de ml/l. los lodos son acumulaciones de sólidos sedimentables y su medida es importante para determinar la necesidad de unidades de sedimentación.

A continuación se muestra la fotografía 3.2 tomada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo en el lugar donde está instalado el Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) de la medición de sólidos sedimentables del agua residual proveniente del Colector Huaycan (Lima).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

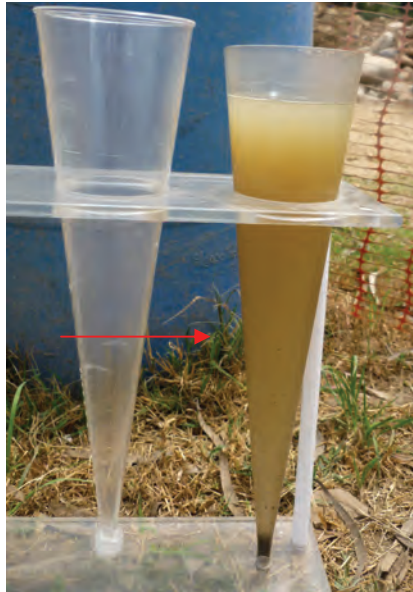


Foto 3. 2: A la izquierda se muestra los sólidos sedimentables del agua residual proveniente del colector Huaycan.

c) Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. Otros generadores de olor son: indol, eskatol y mercaptanos.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

d) Temperatura

Es un parámetro importante en aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final. Por lo general el agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua del suministro.

La temperatura:

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

-Afecta y altera, la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacterial.

-Modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto.

-La tasa de sedimentación de sólidos en aguas cálidas es mayor que en aguas frías, por el cambio en la viscosidad del agua.

En general los tiempos de retención para tratamiento biológico disminuyen a una mayor temperatura y los parámetros de diseño son función de ella. La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a temperaturas de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar.

(Jairo A. Rojas, 2005)

e) Color

El color en aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color causado por sólidos suspendidos se llama color aparente mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se denomina color verdadero.

El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Por lo tanto de forma cualitativa el color puede usarse para estimar la condición del agua residual.

Algunas aguas residuales pueden añadir color a las aguas residuales domesticas.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

A continuación se muestra la fotografía 3.3 tomada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo en el lugar donde está instalado el Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) donde se muestran el agua residual con presencia de residuos (fotografía de la izquierda) ubicado en el TSA y el agua residual sin presencia de residuos (fotografía de la derecha) ubicado en el tanque de alimentación del TSA.



Foto 3. 3: (a) A la izquierda se muestra aguas residuales del colector Huaycan con presencia de otros residuos. (b) A la derecha se muestra aguas residuales del colector Huaycan sin presencia de otros residuos.

f) Turbiedad

La turbiedad es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad del agua.

La medición de la turbiedad se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa en una muestra y la luz dispersa por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones (Standard Methods, 1995).

Los resultados de las mediciones de turbiedad se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT)

3.1.1.2 Características químicas del agua residual

a) Materia orgánica

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

-Demanda bioquímica de oxígeno

La DBO se define usualmente como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras se estabiliza la materia orgánica putrescible bajo condiciones aeróbicas.

En la prueba de DBO una pequeña muestra de agua residual se coloca en una botella de DBO (volumen de 300 ml). La botella se completa a volumen usando agua saturada con oxígeno y con los nutrientes requeridos para crecimiento biológico. Antes de tapar la botella se mide la concentración de oxígeno disuelto se mide de nuevo. La DBO de la muestra es la diferencia entre los valores de concentración de oxígeno disuelto, expresado en miligramos por litro, dividido por la fracción decimal del volumen de muestra usada. El valor calculado de DBO se conoce como demanda bioquímica e oxígeno a cinco días y 20°C.

A continuación se muestra la fotografía 3.5 tomada en el laboratorio N° 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería. En la fotografía se muestra los insumos y materiales usados para realizar el análisis de laboratorio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

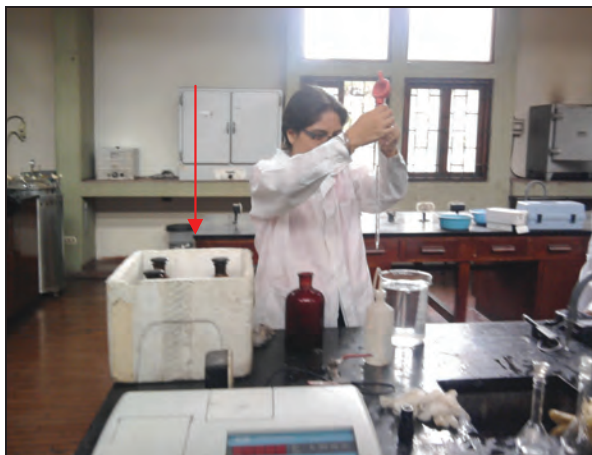
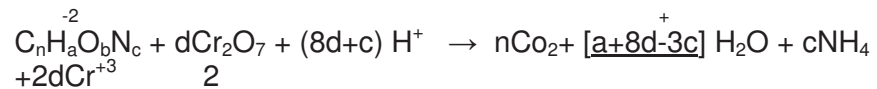


Foto 3. 4 : La flecha roja indica los insumos usados para el análisis de la DBO.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

-Demanda química de oxígeno

La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido, como se ilustra en la siguiente ecuación:



Donde:

$$d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} + \frac{b}{3} - \frac{c}{2}$$

b) Materia inorgánica

-pH

El pH se define como el logaritmo de base 10 de la recíproca de la concentración de iones hidrógeno. Es un término usado para expresar la intensidad de la condición ácida y alcalina de una solución. Expresa la concentración de iones hidrógeno.

El pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con un pH-metro. Para el mismo procedimiento de medición también se emplean soluciones indicadoras y papeles de pH que cambian de color a determinados valores del pH. El color de la solución o del papel se compara entonces con el color de series normalizadas

El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos (Metcalf, 1998).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Foto 3. 5: Se muestra medición de pH en campo.

3.1.1.3 Características biológicas del agua residual

Las características biológicas de las aguas residuales son de fundamental importancia en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos de humano, y por el papel activo y fundamental de las bacterias y otros microorganismos dentro de la descomposición y estabilización de la materia orgánica.

En vista del gran número de organismos patógenos en aguas residuales es posible aislar e identificar solo alguno de ellos. Los coliformes se emplean como indicadores por su fácil identificación y presencia abundante (Crites, 2005).

- a)** Coliformes totales: Bacterias bacilares gram negativas que fermentan la lactosa con producción de gas en 48 h a $35 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Existen cepas que no conforman con la definición. Incluyen cuatro géneros: Escherichia, Klebsiella, Citrobacter y Enterobacter.
- b)** Coliformes fecales: Bacterias coliformes que producen gas a 44.5°C en 24 horas $\pm 2\text{h}$. En aguas residuales es uno de los mejores indicadores de la presencia posible de patógenos.

Otros organismos indicadores de contaminación son: Klebsiella, Escherichia Coli, Streptococos fecales, Clostridium perfringens.

3.1.2 Clasificación De Los Métodos De Tratamiento De Las Aguas Residuales

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y/o biológicos. Los métodos individuales de tratamiento suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios, y procesos biológicos unitarios.

a) Operaciones físicas unitarias

Los métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas se conocen como operaciones físicas unitarias.

El desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración son operaciones unitarias típicas.

b) Procesos químicos unitarios

Los métodos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas, se conocen como procesos químicos unitarios. Fenómenos como la precipitación, adsorción y la desinfección son ejemplos de los procesos de aplicación más común en el tratamiento de aguas residuales.

c) Procesos biológicos unitarios

Los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se conocen como procesos biológicos unitarios. La principal aplicación de los procesos biológicos es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual.

3.1.3 Aplicación De Los Métodos De Tratamiento

a) Tratamiento preliminar

El pre tratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia puede provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares (Metcalf, 1998).

b) Tratamiento primario

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual (Metcalf, 1998).

c) Tratamiento secundario

El tratamiento secundario de las aguas residuales esta principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario (Metcalf, 1998).

d) Tratamiento terciario

El tratamiento terciario es el nivel de tratamiento necesario más allá del tratamiento secundario convencional, que se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada para el reúso.

3.2 PRINCIPIOS DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico de aguas residuales consiste en la remoción de contaminantes mediante actividad biológica.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

En el tratamiento biológico existen cuatro grupos principales de procesos biológicos: procesos aerobios, procesos anóxicos, procesos anaerobios y procesos combinados, aerobios con anóxicos o con anaerobios (Jairo A. Romero R., 2005).

En los procesos de tratamiento aerobio el tratamiento se efectúa en presencia de oxígeno.

Los procesos anaerobios son aquellos en los cuales el tratamiento biológico ocurre en ausencia de oxígeno. En su forma más elemental, se puede considerar que el proceso anaerobio de descomposición de materia orgánica integrado de dos etapas: fermentación de ácidos y fermentación de metano, que ocurren simultáneamente.

La fermentación anóxica o proceso de respiración de nitrato está definida como el conjunto de reacciones de reducción del nitrato o nitrito, en las cuales estos se utilizan como aceptadores de electrones, en ausencia de oxígeno libre.

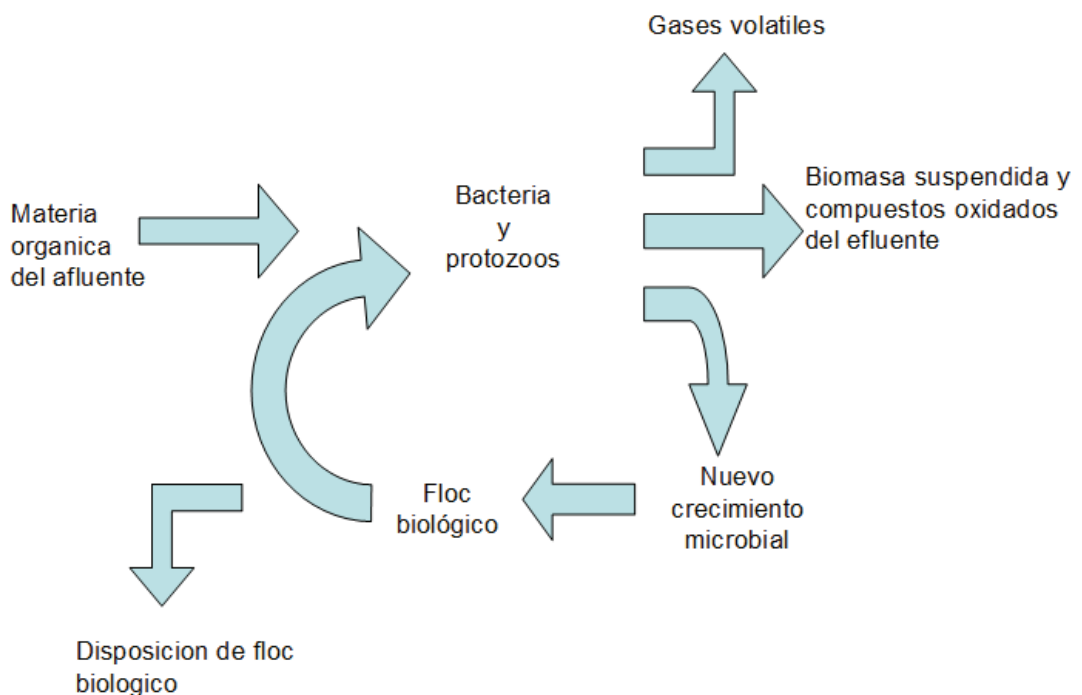


Gráfico 3. 2: Descomposición microbológica de la materia orgánica (Cuadro adaptado del libro Tratamiento de Aguas residuales, Jairo A. Romero R)

3.3 TRATAMIENTO ANAEROBIO

En el tratamiento anaerobio ocurren los procesos básicos de la descomposición anaerobia, es decir, desnitrificación de nitratos, respiración de sulfatos, hidrólisis y fermentación acetogénica y metanogénicas. El proceso microbio es muy complejo y está integrado por múltiples reacciones paralelas y en serie, interdependientes entre sí. (Jairo A. Romero R., 2005)

3.3.1 Variables Del Proceso De Tratamiento Anaerobio

El reactor que realizara el tratamiento anaeróbico debe estar desprovisto de oxígeno disuelto y libre de concentraciones inhibitoras de constituyentes como metales pesados y sulfuros.

El pH del ambiente acuoso debe oscilar entre 6.6 y 7.6. Debe haber suficiente alcalinidad presente para asegurar que el pH no descenderá por debajo de 6.2, ya que las bacterias metanógenas no pueden actuar por debajo de ese punto.

Una cantidad suficiente de nutrientes, como el nitrógeno y el fosforo, debe estar disponible para asegurar el crecimiento adecuado de la comunidad biológica.

La temperatura es otro parámetro ambiental importante. El rango óptimo de temperatura para las bacterias mesófilas es 30 a 38°C y para las termófilas es de 49 a 57°C. La mayoría de los tratamientos con procesos anaerobios se operan en el rango mesófilo de temperatura.

3.3.2 Digestión Anaerobia

a) El proceso microbiológico y bioquímica de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tiene lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Usualmente se dividen el proceso de descomposición anaerobia de la materia orgánica en 4 fases o procesos:

- Hidrólisis
- Etapa fermentativa o acidogénica
- Etapa acetogénica
- Etapa metanogénica

En la gráfico 3.3. Se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaerobia, los microorganismos que interviene en cada una de ellas y los productos intermedios generados.

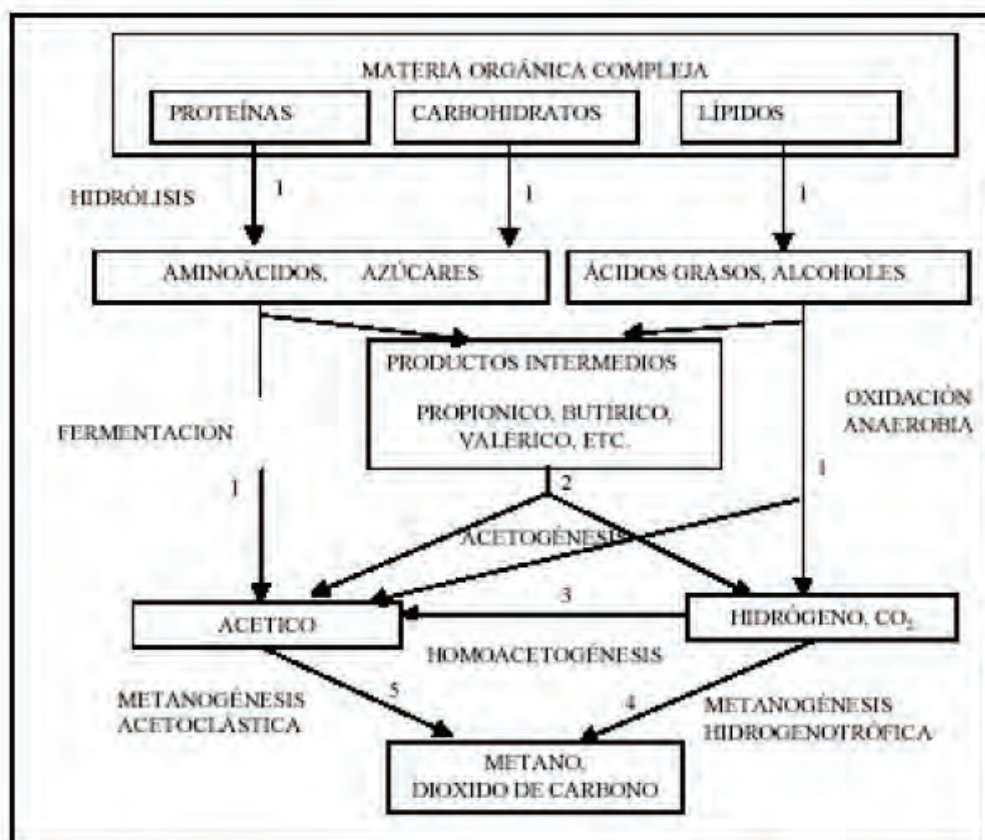


Gráfico 3. 3: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos (Pavlosthatis y Giraldo –Gomez, 1991) Los números indican la población bacteriana responsable de cada proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrogeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas. (Figura extraida del libro Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process, Nuria Martí Ortega, 2006)

a) Hidrólisis

La hidrólisis de la materia orgánica polimérica a compuestos solubles o Monoceros es el paso inicial para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos, ya que los microorganismos únicamente puede utilizar materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos.

b) Etapa fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H₂), y compuestos orgánicos más reducidos (propionicos, butírico, valerico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso.

- Fermentación de carbohidratos solubles

La fermentación de azúcares se realiza por diversos tipos de microorganismos. En función de cada organismo, la ruta metabólica y los productos finales son diferentes.

Los principales microorganismos asociados a la degradación de la glucosa se convierten en piruvato mediante la ruta Embde-Meyerhof, y el piruvato se desdobra a Acetil-CoA y CO₂.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

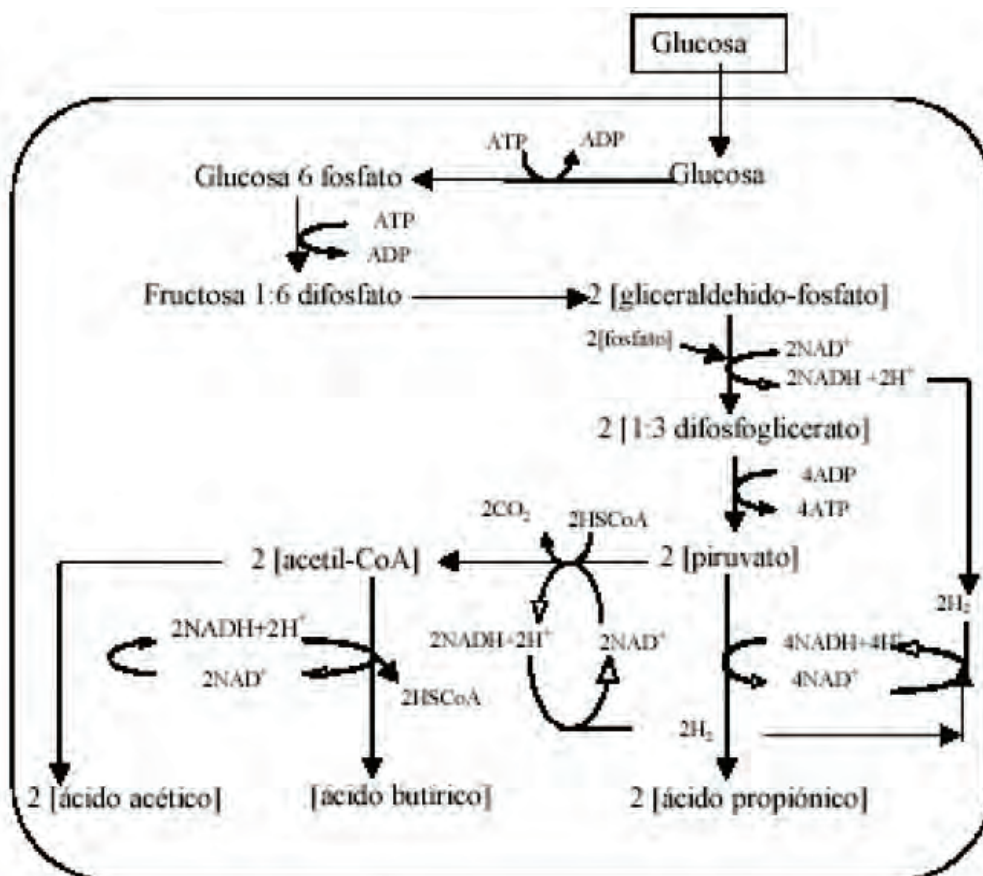


Gráfico 3. 4: Simplificación de la ruta metabólica de Embden-Meyerhof de degradación de la glucosa de por las bacterias acidogénicas. (Figura extraída del libro Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process, Nuria Martí Ortega, 2006)

-Fermentación de aminoácidos

Los principales productos de la fermentación de aminoácidos y de otras moléculas hidrogenadas son ácidos grasos de cadena corta, succinico, aminovalerico y H₂. La fermentación de aminoácidos se considera un proceso rápido y que, en general, no limita la velocidad de degradación de compuestos proteicos.

Los productos finales de la oxidación os NH₃, CO₂ y un ácidos carboxílico con un átomo de carbono menos que el aminoácido oxidado (n-butírico y ácidos isobutírico, isovalerico, caproico, sulfuro de hidrógeno, metilcaptano, cadaverina, putrescina, etc, según el aminoácido del que proceda).

-Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga

Los ácidos grasos de cadena larga son oxidados a ácidos grasos de cadena corta por el mecanismo de β -oxidación. Los ácidos grasos libres son introducidos en la célula a través de la pared celular y una vez en su interior, son transformados en el correspondiente tio-ester-CoA. La β -oxidación es un ciclo en espiral que va liberando un acetyl-CoA en cada bucle, produciendo, principalmente ácido acético.

En condiciones anaerobias, este mecanismo es termodinámicamente desfavorable y muy dependiente de la presión parcial de hidrógeno, por lo que es de gran importancia la acción simbiótica de los microorganismos consumidores de hidrógeno para que se pueda producir.

c) Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles como valeriano, butirato, propionato, etc y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, acetato y H_2 , a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*.

El principal inhibidor de la acetogénesis, cuya acumulación provoca la rápida acumulación de sustratos es la acumulación de hidrógeno molecular. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotroficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como la mezcla H_2/CO_2) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, estas no producen hidrógeno como resultado de sus metabolismo sino que lo consumen como sustrato. El resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

hidrogeno y por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas.

Las bacterias metanogénicas hidrogenotróficas también consumen H₂ ayudando así al mantenimiento de presiones bajas de H₂. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium Woody* o *Clostridium aceticum* (Ortega, 2006)

d) Etapa metanogénica

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato H₂/CO₂, metanol y algunas metilaminas.

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H₂/CO₂ y formico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas.

La mayor parte del metano producido en los reactores anaerobios se forma a partir del acetato a pesar que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H₂, como aceptor de electrones, solo dos generos pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tiene especies acetotroficas son *Methanosarcina* y *Methanotrrix* (Ortega, 2006).

3.4 TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USADAS EN EL PERU

3.4.1 Tanque Séptico

Un tanque séptico se usa para recibir la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales y de otras instalaciones sin red de alcantarillado.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

En el cual la sedimentación y la digestión del residuo ocurren en el mismo recipiente, los sólidos sedimentables que se encuentran en el agua residual cruda forma una capa de lodo en el fondo del tanque séptico. Las grasas, aceites y demás material ligero tienden acumularse en la superficie donde forman una capa flotante de espuma en la parte superior y la capa de lodo sedimentado en el fondo.

Es el sistema más usado para adecuar el agua residual con el fin de dispersarla en el subsuelo mediante campos de infiltración o para postrarla en filtros anaerobios, filtros intermitentes de arena o procesos biológicos convencionales en el mismo sitio.

Se construye en materiales impermeables como concreto, fibra de vidrio, acero, pino californiano y polietileno.

En estudios realizados sobre eficiencia de los tanques sépticos se indican las siguientes conclusiones principales: 1. el tanque séptico debe tener un periodo de retención mayor de 24 horas; 2. el tanque séptico debe tener una configuración de la unidad de salida con pantalla para gases; 3. la relación de área superficial a profundidad debe ser mayor de 2; 4. se debe preferir un tanque de cámaras múltiples con interconexiones similares a las de la unidad de salida.

El periodo retito de residuos sólidos acumulado en el tanque séptico se puede establecer con base en la experiencia de instalaciones semejantes, aunque la cantidad de lodo acumulado depende del agua residual afluyente y de la tasa de digestión, la cual está influida por la temperatura local.

La limpieza de un tanque séptico se hace para prevenir que se acumulen residuos sólidos en su interior y provoque al escape de sólidos por el afluyente.

3.4.2 Tanque Imhoff

El tanque Imhoff es un sistema de tratamiento anaerobio. El tanque consta de un compartimiento inferior para digestión de los sólidos sedimentados y de una cámara superior de sedimentación. La espuma

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

se acumula en la zona de sedimentación y en las zonas de ventilación adyacentes a las cámaras de sedimentación. El gas producido en el proceso de digestión, en la cámara de lodos, escapa a través de la zona de ventilación.

El tanque Imhoff puede tener varias cámaras de sedimentación sobre una cámara de digestión. La remoción de sólidos suspendidos puede ser de 45 a 70%, y la reducción de DBO de 25 a 50%. Sin embargo, la remoción es variable, dependiendo de las características del residuo y de las condiciones de diseño y de operación.

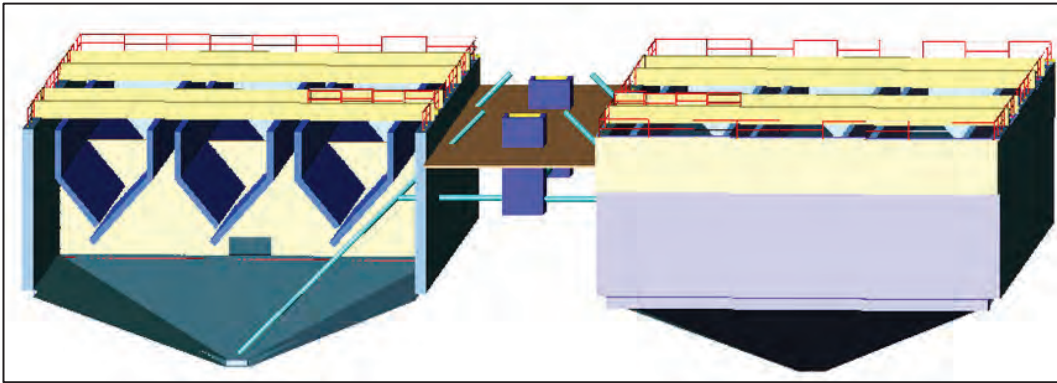


Gráfico 3. 5: Vista de corte de un tanque imhoff.

3.4.3 Lodos activados

Todos los procesos de lodos activados tienen en común el contacto de aguas residuales con floc biológico previamente formado en un tanque de aireación. El lodo activado consiste en una masa floculenta de microorganismos, materia orgánica muerta y materiales inorgánicos; tiene la propiedad de poseer una superficie altamente activa para la adsorción de materiales coloidales y suspendidos, a la cual debe su nombre de activado. (Jairo A. Romero R., 2005)

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

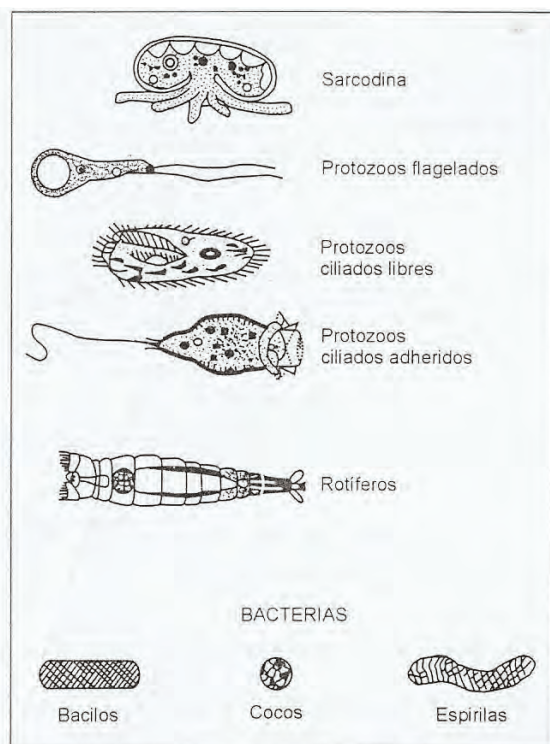


Gráfico 3. 6: Microorganismos comunes del proceso de lodos activados

a) Sistema convencional de Lodos Activados

El esquema específico de flujo del proceso biológico convencional de lodos activados (tanque de aireación, sedimentador y recirculación de lodos activados) se indica en la gráfico 3.6.

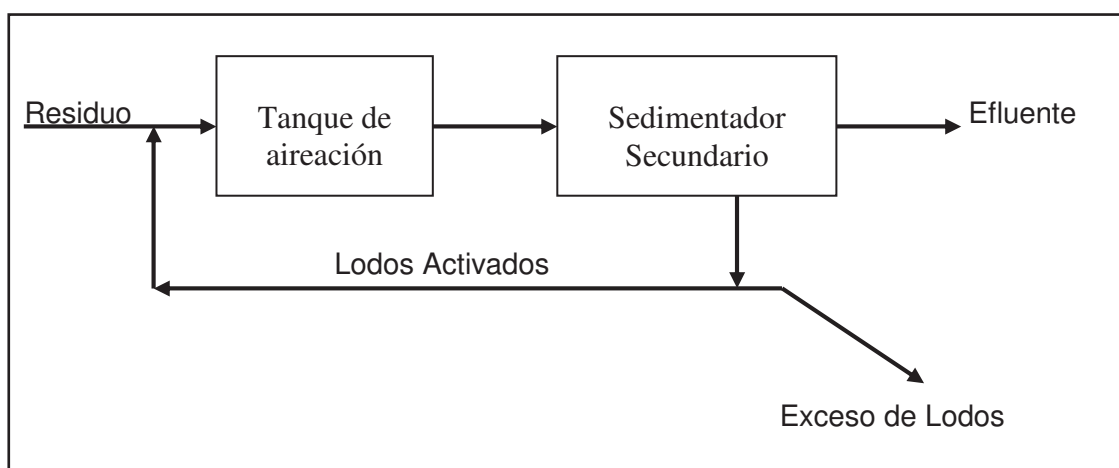


Gráfico 3. 7: Esquema de los procesos convencionales de lodos activados.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Los lodos recirculados y el agua residual proveniente del sedimentador primario, si lo hay, entran en el tanque de aireación, donde son aireados y mezclados a medida que la mezcla líquida (lodos + agua residual) fluye a lo largo tanque.



Foto 3. 6: Planta de tratamiento lodos activados para el Hotel Libertador Paracas (Ica, Perú)

3.4.4 Los Humedales

Los humedales construidos son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos plantados con plantas propias de zonas húmedas (macrófitos acuáticos) y donde los procesos de descontaminación son ejecutados simultáneamente por componentes físicos, químicos y biológicos.

A través de diferentes procesos, los microorganismos del suelo y de los rizomas de las plantas degradan la materia orgánica, las plantas asimilan y retienen los nutrientes y los metales del agua quedan retenidos en la graba y en el tejido vegetal.

Los humedales construidos se clasifican tradicionalmente en dos tipologías dependiendo si la circulación del agua es de tipo subterránea o superficial. En los humedales de flujo superficial el agua está expuesta directamente a la atmósfera. Este tipo de humedal se puede entender como una modificación del lagunaje convencional con menor profundidad (no más de 0.4m). En los humedales de flujo subsuperficial

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

la circulación de agua es subterránea a través de un medio granular (con una profundidad de la lámina de agua de alrededor de 0.6m) y en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos.

Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican según el sentido de circulación del agua en horizontales o verticales.

Los humedales con flujo horizontal funcionan permanentemente inundados. Los humedales con flujo vertical se diseñan con funcionamiento intermitente, es decir, tienen fases de llenado, reacción y vertido. La intermitencia y la inundabilidad permanente confieren propiedades muy diferentes en los sistemas verticales y las horizontales, respectivamente.

Los humedales de flujo superficial se suelen utilizar como tratamiento adicional a efluentes previamente tratados.

Los humedales de flujo subsuperficial son instalaciones de menor tamaño y que en la mayoría de los casos se utilizan como sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en casas, viviendas aisladas y núcleos de menos de 2000 habitantes (Joan García, 2004).



Foto 3. 7: Humedal construido en CITRAR-UNI (ex UNITRAR) ubicado en la Universidad Nacional de Ingeniería en Lima, Perú.

3.5 LEGISLACIÓN EXISTENTE EN EL PERU

La presente investigación está enmarcada fundamentalmente dentro de la siguiente legislación:

3.5.1 Constitución Política del Perú. 1993

Artículo 2 inciso 22) 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;

3.5.2 Reglamento de la Ley Recursos Hídricos D.S. N°001-2010-AG (Publicado el 24 de marzo de 2010)

3.5.3 Ley de Recursos Hídricos-Ley 29338

La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

Artículo 79^o.- Vertimiento de agua residual

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

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

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

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

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

Artículo 80^o.- Autorización de vertimiento

Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva, el cual debe contemplar los siguientes aspectos respecto de las emisiones:

1. Someter los residuos a los necesarios tratamientos previos.
2. Comprobar que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación.

La autorización de vertimiento se otorga por un plazo determinado y prorrogable, de acuerdo con la duración de la actividad principal en la que se usa el agua y está sujeta a lo establecido en la Ley y en el Reglamento.

Artículo 81^o.- Evaluación de impacto ambiental

Sin perjuicio de lo establecido en la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, para la aprobación de los estudios de impacto ambiental relacionados con el recurso hídrico se debe contar con la opinión favorable de la Autoridad Nacional.

Artículo 133.- Condiciones para la autorización de Vertimientos de agua residual

Cuando sean sometidas a un tratamiento previo y cumplan los LMP.

No transgredan los ECAs.

Las condiciones del cuerpo receptor permitan la autodepuración.

No se cause perjuicio a otro uso.

No se afecte la conservación del ambiente acuático.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad sectorial competente.

Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustres, fluviales o marino costeras según corresponda.

3.5.4 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. (Decreto Supremo 003-2010-MINAM)

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.

La determinación y cumplimiento de estos LMP corresponde al Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental, organismos que a través de este Decreto Supremo, han dispuesto de plazos para que las PTAR, definidas como infraestructura y procesos para depurar las aguas residuales domésticas o municipales, se adecúen de manera progresiva a estos nuevos límites promovidos por el MINAM, los cuales contarán a su vez con un Protocolo de Monitoreo.

Cuadro 3. 1: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR

PARÁMETRO	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	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

3.5.5 Estándares de Calidad Ambiental para el Agua. (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM)

Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Los Estándares son aplicables a los cuerpos de agua del Territorio Nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Categoría III: Riego de vegetales y bebida de animales

Cuadro 3. 2: Riego Vegetales de tallo bajo y tallo alto

DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	OD (mg/l)	Aceites y Grasa (mg/l)	Ph Unidad	Conductividad uS/cm
15	40	>=4	1	6,5-8,5	<2000

Cuadro 3. 3: Riego de Vegetales

Parametro	Unidad	Tallo Bajo	Tallo Alto
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1000	2000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5000	5000
Enterococos	NMP/100mL	20	100
Escherichia coli	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	Huevos/litro	<1	<1
Salmonella sp.	-	Ausente	Ausente
Vibrio cholerae	-	Ausente	Ausente

3.5.6 Norma OS090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

La norma está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización.

En el capítulo 4.3.13 de OS. 090 se menciona ciertos procesos de tratamiento con sus respectivas eficiencias.

Cuadro 3. 4: Guía para la selección de las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales según Reglamento Nacional de Edificaciones OS 090

PROCESO DE TRATAMIENTO	REMOCIÓN (%)		REMOCIÓN ciclos log ₁₀	
	DBO	Sólidos en suspensión	Bacterias	Helmintos
Sedimentación primaria	25-30	40-70	0-1	0-1
Lodos activados (a)	70-95	70-95	0-2	0-1
Filtros percoladores (a)	50-90	70-90	0-2	0-1
Lagunas aeradas (b)	80-90	(c)	1-2	0-1
Zanjas de oxidación (d)	70-95	80-95	1-2	0-1
Lagunas de estabilización (e)	70-85	(c)	1-6	1-4

3.6 PLANTA DE TRATAMIENTO DE CARAPONGO

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo se ubica en el Km17 de la carretera central en el distrito de Ate. La PTAR cuenta con 19 Ha. El ámbito de las actividades se dan en Lima y Callao, generando una producción anual de agua potable de 342.67 m³ y el porcentaje de agua servida que reciben un tipo de tratamiento es de 22.18%.

La planta fue diseñada inicialmente para tratar 140 l/s de aguas residuales provenientes de las localidades de Chosica, Chaclacayo y poblaciones ribereñas del río Rímac; con el incremento de la población el caudal ha crecido hasta 500 l/s, recibiendo las aguas residuales domésticas de Huaycan y Horacio Zeballos. La población beneficiaria es de aproximadamente 263 000 habitantes.

El tratamiento biológico utilizado se denomina sistema anaerobio-aerobio.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

A continuación se presenta al personal que labora en la PTAR. Carapongo de SEDAPAL y el cargo que ocupan.

Miembros del equipo	Cargo
1. Sofía Basilio Ascanio	Biólogo de Disposición Final
2. Joel Ortiz	Ingeniero de Disposición Final
3. Job Herrera Villayzan	Técnico de mantenimiento Disposición Final
4. Edgar Zenobio	Ingeniero de Mantenimiento Disposición Final
5 Raúl Córdova Chinchaya	Asistente de Tratamiento y Disposición Final

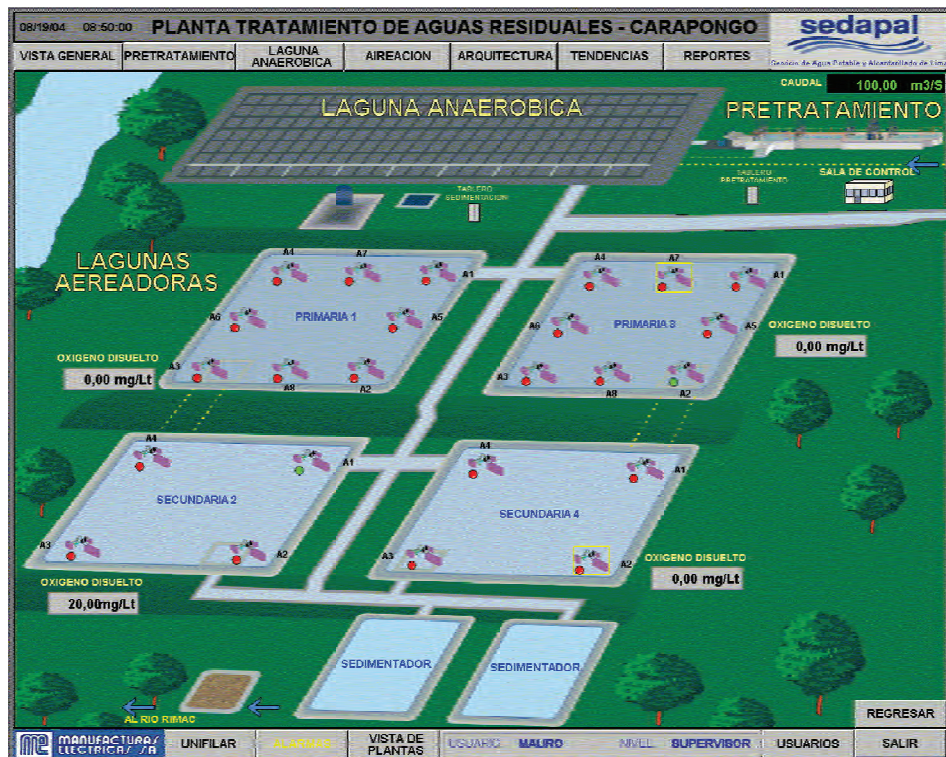


Gráfico 3. 8: Conjunto de procesos que involucra el tratamiento de aguas residuales de la PTAR Carapongo de SEDAPAL.

CAPITULO IV

REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS

4.1 REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE CON MANTO DE LODOS-UASB

El UASB se desarrolló en los países bajos (Lettinga et al.1980) y se utiliza ampliamente en Europa y en América del Sur. El líquido que va ser tratado se introduce en el fondo del reactor, desde donde fluye hacia arriba a través del manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos.

Los gránulos de lodo varían de tamaño, desde 1/16 hasta 1/4 de pulgada. La estructura de los gránulos depende de la naturaleza del sustrato. Entre los microorganismos importantes para formar un buen granulo se considera importante la bacteria acetoclastica mehanorthrix.

En algunos casos, el manto de lodos es floculante.

Los gases de la digestión anaerobia se adhieren a los gránulos de lodos o partículas o causan circulación interna a medida que ascienden hacia la superficie. Mientras que el material, que se mantiene a flote gracias a los gases, colisionan contra los deflectores y se deposita de nuevo sobre la zona en reposo de sedimentación arriba del manto de lodos. Los gases de la digestión anaerobia son atrapados en una campana colectora de gas localizado en la parte superior del reactor.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

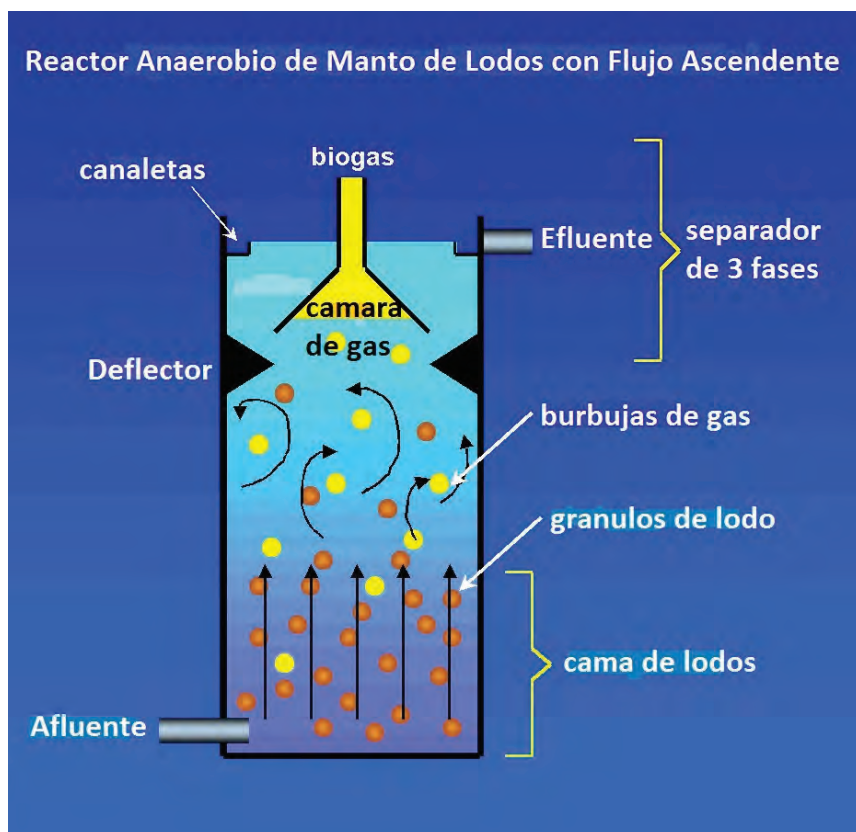


Figura 4. 1: Se aprecia las diferentes fases que conforma un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos (UASB). Figura adaptada, extraída de la pagina Web <http://www.uasb.org>.

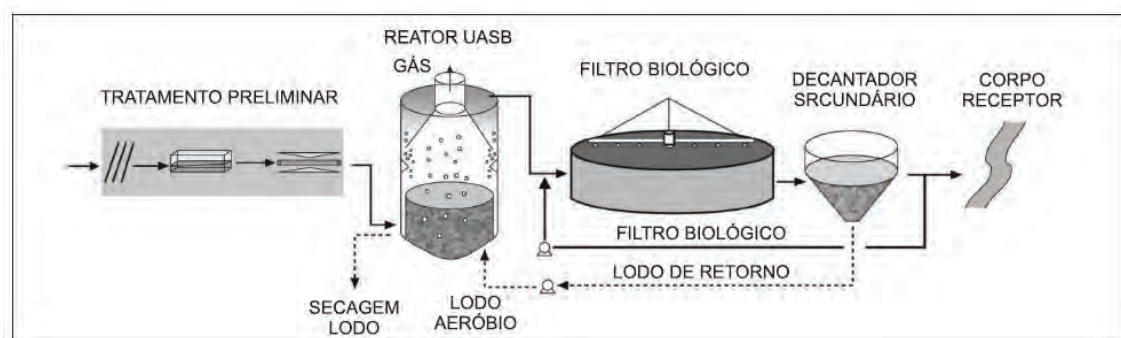


Figura 4. 2: Flujograma típico de una PTAR usando UASB. Extraído del libro: Reutilización de aguas residuales, incluido el desarrollo de tecnologías de tratamiento para este propósito (Programa de Investigación en Saneamiento Básico –PROSAB).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Para usar la tecnología de Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente con Manto de Lodos-UASB en el diseño se deberá tener en cuenta la normatividad vigente. También se deberá tener en cuenta algunas consideraciones básicas de diseño.

4.1.1 Consideraciones básicas de diseño

a) Materia Orgánica

La materia orgánica debe ser biodegradable. Aunque la DBO es una medida de la biodegradabilidad aerobia. “Sin embargo se puede como indicador de la biodegradabilidad anaerobia (Lucas Seghezzo, 2007)”.

En aguas residuales más complejas una prueba anaerobia específica de la biodegradabilidad debe ser realizada.

Los sólidos suspendidos totales (SST) no afectan perjudicialmente la eficiencia del tratamiento, sino que habrá la producción de lodo en exceso será más alta que las aguas residuales orgánicas totalmente solubles.

b) Temperatura

Por lo general los UASB trabajan a temperatura promedio de 20°C. Se han realizado experiencias favorables del uso de UASB en zonas frías obteniéndose un buen funcionamiento a temperaturas mayores de 15°C

Para el diseño según la bibliografía se deberá tener presente que la temperatura media anual del afluente está sobre 20°C, para una adecuada digestión anaerobia. Sin embargo, es importante observar que la temperatura de las aguas residuales durante el invierno es crucial, y la duración del período frío tiene que contemplado en el diseño.

El lodo mal estabilizado que se acumula durante el periodo frío será estabilizado inmediatamente durante el tiempo de verano dando como resultado una producción más alta de biogas.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

c) pH

Generalmente para el caso de las aguas residuales, el pH está cerca de la neutralidad. Para algunas aguas residuales industriales es necesaria la corrección del pH.

d) Caudal

Las fluctuaciones del flujo y el grado de los picos del flujo deben ser analizados. Un reactor UASB bien diseñado y funcionando adecuadamente debe hacer frente a tales fluctuaciones.

Para las aguas residuales industriales, los picos tienden a ser muy pronunciados, especialmente cuando la producción no es constante en el día, o en la semana. En esos casos, el flujo necesita ser igualado en un tanque de la igualación.

Cuadro 4. 1: Información básica de las aguas residuales necesarias para el diseño del reactor UASB. Cuadro extraído del Manual para el diseño de reactores UASB, Lettinga Asociados Fundación.

Parámetros	Valor Promedio
Temperature (°C)	20.0
pH	7.0
DQO (Demanda Química de Oxígeno) (mg/L)	900.0
DBO ₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) (mg/L)	600.0
SST (Sólidos Suspendedos Totales) (mg/L)	300.0
Caudal (m ³ /d)	9 1500

4.2 TANQUE SÉPTICO AVANZADO (TSA)

El tanque séptico (TS) es uno de los métodos bien conocidos en el tratamiento en el sitio de aguas residuales. Los procesos que ocurren en los tanques sépticos son: la sedimentación de la materia en suspensión, digestión anaeróbica de materia orgánica y acumulación de lodos.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Criterios de diseño típico son: Periodo de retención hidráulico de 3 días (de los cuales un volumen de 2 días está destinado a la acumulación de lodos, la profundidad de 1 a 2 metros y de flujo horizontal). A menudo los tanques sépticos se dividen en dos o más compartimientos para evitar cortocircuitos y obtener una zona de reposo en la salida.

Los Reactores Anaerobio de Manto de Lodos con Flujo Ascendente (conocido por sus siglas en inglés UASB) se utilizan para el tratamiento de diversos tipos de aguas residuales. Se logra una buena eficiencia de remoción gracias a la creación de un denso lecho de lodos en la parte inferior del reactor. La cama de lodos esta formada por la acumulación de sólidos suspendidos inertes (SS) del afluente y de la biomasa producida. El flujo ascendente mejora las condiciones de agregación de bacterias en floculos y gránulos.

El Tanque Séptico Avanzado con Flujo Ascendente (TSA) (en inglés UASB septic tank o UASB type septic tank) presenta algunas ventajas de los UASB como son: el flujo ascendente de un gas, separación sólido / líquido en la parte superior del tanque.

El primer proyecto usando esta tecnología se llevó a cabo en Bandug (Indonesia) entre 1084 y 1991. Aquí se estudio el tratamiento de aguas de lluvia, aguas residuales o aguas combinadas. En la **Figura 4.3** se muestra el TSA usado en Indonesia.

El segundo proyecto de investigación se llevó a cabo en Bennekom, Kootwijk y Noordwijk en 1987 y 1988 en los Países Bajos (Bogte et al., 1993).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Figura 4. 3: Se muestra el Tanque Séptico Avanzado (TSA) aplicado en Indonesia.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del TSA aplicado en Indonesia.

Cuadro 4. 2: Datos y resultados obtenidos del estudio de tratamiento de aguas residuales mediante un TSA.

Parámetros	Tratamiento de Aguas Residuales	Tratamientos de Aguas municipales
Caudal (l/d)	50-100	489+-199
Afluente DQO (gr/m ³)	5,542	1,359
Afluente DBO ₅ (gr/m ³)	1,586	387
Afluente SST (gr/m ³)	1,803	274
Rango de Temperatura (°C)	22-25	22-25
PRH (días)	8 a 17	1.25-2.97
SLR (kg DQO/kg SSV.d)	0.12	0.02
Altura del Reactor (m)	1.8	1.8
Entrada de Punto	1	1

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

DQO-remoción (%)	90-93	67-77
DBO ₅ - remoción (%)	86-95	46-78
SST- remoción (%)	93-97	74-81

La ventajas reportadas de implementar un sistema tanques sépticos avanzados de flujo ascendente (TSA) en vez de los tanque sépticos convencionales son: La frecuencia de retiro del exceso de lodos es baja debido a una baja tasa de crecimiento de lodos, mayor eficiencia ya que se usa la parte anaerobia del sistema, separación de las fases sólido, líquido y gaseoso, producción de gas metano y remoción de sólidos en suspensión.

4.3 EXPERIENCIA CON LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS (TSA) EN ZONAS TROPICALES

4.3.1 Experiencia en la Universidad de Birzeit, en Palestina donde se trató las aguas residuales de la universidad mediante un Tanque Séptico Avanzado.

Para la implementación de esta tecnología se consideró que las aguas residuales contienen una alta cantidad de sólidos en suspensión. Las aguas residuales de Cisjordania están clasificadas como aguas residuales de concentración fuerte debido a la alta concentración de contaminantes como DQO, NTK, fósforo, amoníaco, sulfato, los sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles. A su vez, se está considerando que la acumulación de estos compuestos en el lecho de lodos reducirá el tiempo de retención de lodos (SRT) y la actividad metanogénicas de los lodos.

Cuadro 4. 3: Características de las aguas residuales de la Universidad Birzeit.

Parámetros*	Caracterización de las aguas residuales	
	N° de muestra	Promedio
Demanda Química de Oxígeno total	20	1013
Demanda Química de Oxígeno suspendido	5	784

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Demanda Química de Oxígeno coloidal	5	162
Demanda Química de Oxígeno disuelta	5	155
Demanda Biológica Oxígeno	6	458
NH ₄ ⁺ en N	10	21
P total en P	6	11
PO ₃ ⁻ en P	8	10
Sólidos Suspendido Total	11	715
Sólidos Suspendidos Volátiles	11	401
Nitrógeno Kjendhal total	3	41
pH	19	8.02
T	19	28.8
Color	Gris - negro	

* En unidad mg/l

a) Puesta en marcha del TSA

La puesta en marcha del TSA se muestra en la figura 4.4 donde un tanque de almacenamiento antes del TSA servirá como un tanque de balance y sedimentación primaria. La incorporación del tanque de balance proporcionara una eliminación parcial de los sólidos, que serán acumulados y experimentaran una posterior estabilización. El TSA fue inoculado con 200 litros de lodos de aguas residuales de lagunas anaerobias de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Birzeit.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

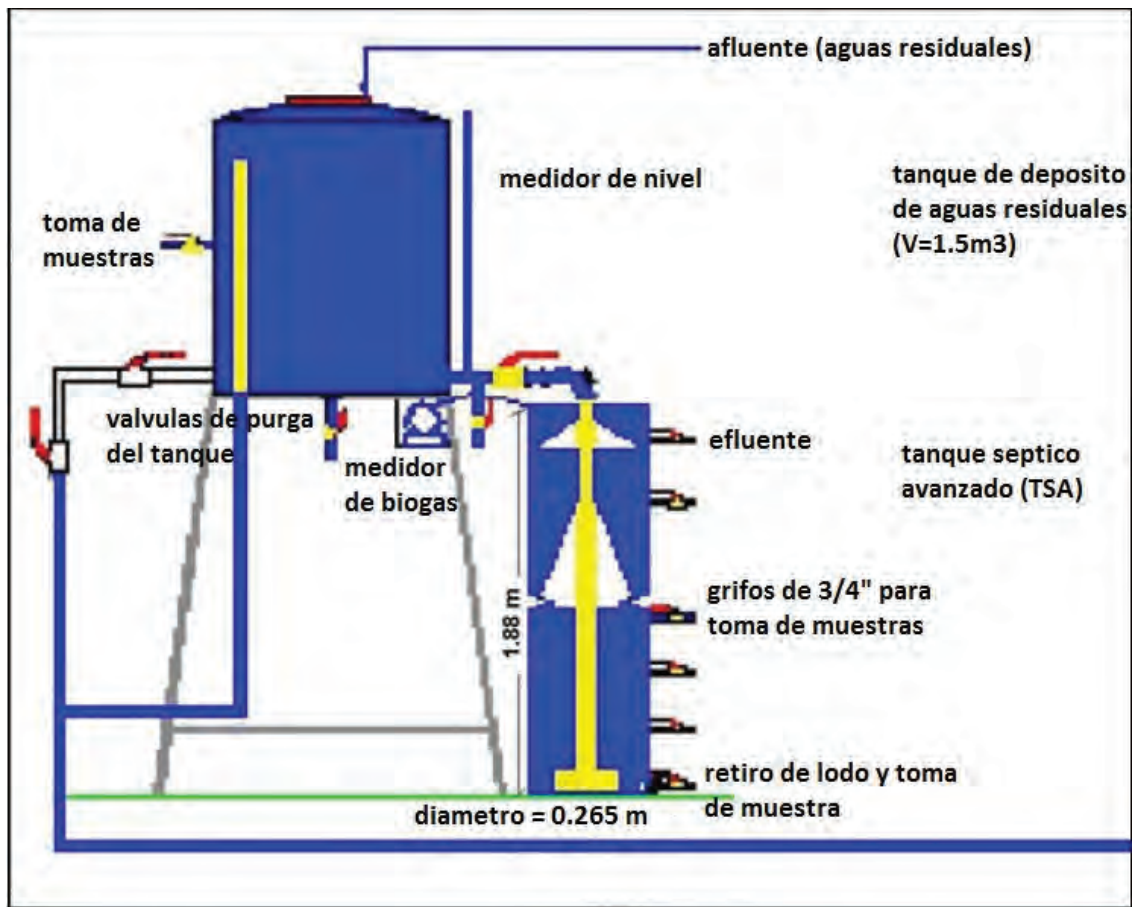


Figura 4. 4: Esquema donde se muestra el tanque séptico avanzado (TSA) y tanque de almacenamiento ($V=1.5\text{ m}^3$)

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

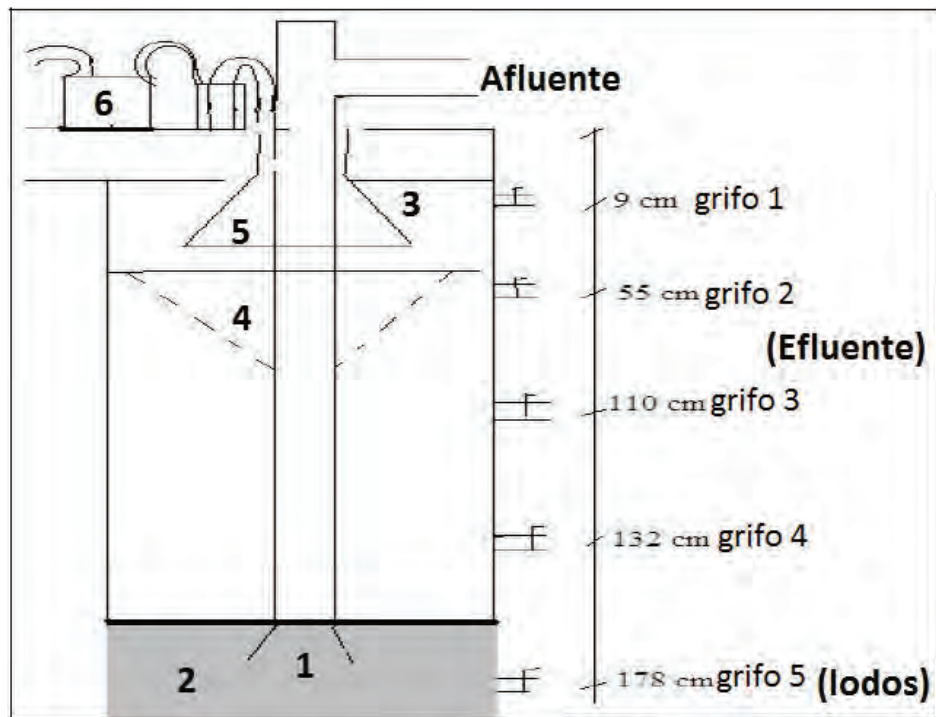


Figura 4. 5: Esquema del tanque séptico avanzado (TSA) de 0.4 m³

La actividad metanogénica del lodo fue de 0.07 g DQO / g SSV.d. Las características del inóculo y las condiciones de funcionamiento se muestra en el cuadro 4.3.

Cuadro 4. 4: Condiciones del Tanque Séptico Avanzado (TSA) de la Universidad de Birzeit en la puesta en marcha.

Parámetro	Unidad	Tanque Séptico Avanzado (TSA)
Periodo de retención hidráulico (PRH)	h	16
Concentración de lodos	kg SSV/m ³	13.9
Actividad metanogénica	g DQO/g SSV*d	0.07
Velocidad ascendente	m/h	0.12

b) Inoculación

Tomando en cuenta la calidad de las aguas residuales, el TSA fue arrancado con 1 kg de inóculo. El lodo inoculado posee una actividad metanogénica entre 0.1-0.08 g DQO/ g SSV.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Se realizó dos siembras de inóculo, la primera durante la segunda semana de Abril hasta finales de Mayo y la segunda durante Junio a Julio a temperatura ambiente de 22 – 28 °C. El pH del afluente fue del rango de 8 – 8.3 y el pH del efluente alrededor de 7.5.

La eficiencia de remoción de DQO total alcanzó un valor promedio de 76% considerando todo el periodo de operación. El principal contribuyente de la DQO fue la remoción de sólidos en suspensión.

Las eficiencias de remoción promedio de DQO fueron de 91%, 71% y 43% para la DQO total, suspendido y coloidal, respectivamente.

Respecto a la remoción de sólidos se tiene una eficiencia de 58% y 53% para los Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles respectivamente.

c) Conclusiones y Recomendaciones

El Tanque Séptico Avanzado (TSA) puede desempeñarse de manera eficiente como una unidad de pre-tratamiento durante el periodo de verano. Las eficiencias de remoción promedio de DQO en suspensión (DQOss), coloidal (DQOcol) y disuelto (DQOdis) son respectivamente 91%, 71% y 43%.

Se requiere más investigación para monitorear el desempeño del reactor durante todo el año especialmente durante el invierno, y consecuentemente el sistema debe ser optimizado, por ejemplo: cantidad de inóculo, periodo de retiro de lodos, etc.

4.3.2 Experiencia con los Tanques Sépticos Avanzados (TSA) a bajas temperaturas

Se estudió el desempeño de los Tanques Sépticos Avanzados (TSA) en condiciones adversas (baja temperatura y de aguas residuales diluidas) en las ciudades de Noordwijk (desagüe doméstico), Kootwijk (desagüe doméstico) y Bennekom (aguas residuales) en los Países Bajos. El volumen del UASB septic tank fue de 1.2m³.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Algunas de las condiciones y resultados obtenidos se resumen en el **Cuadro 4.5.**

Cuadro 4. 5: Condiciones y eficiencia promedio de tratamiento de los Tanques Sépticos Avanzados (TSA) en los Países Bajos.

	Aguas residuales (Bennekom)	Desagüe domestico (Kootwijk)	Desagüe domestico (Noordwijk)
Volumen específico (m ³ /i.e.)	0.12	0.42	0.42
Afluente DQO (gr/m ³)	1,720	821	976
Afluente DBO (gr/m ³)	640	467	454
Rango de temperatura (°C)	8.16	8.18	8.18
PRH (h)	102.5	57	44
Remoción-DQO (%)	60	4	31
Remoción DBO (%)	50	15	38

a) Conclusiones y Recomendaciones

La investigación muestra que la eficacia del tratamiento depende fuertemente de la temperatura del reactor.

La remoción de DBO que tienen lugar a temperaturas inferiores a 12 °C se basó exclusivamente en la sedimentación y por lo tanto muy influenciada por la turbulencia.

A temperaturas entre 8 a 12 °C la fermentación acidogénica todavía está activo, pero la conversión de ácidos grasos volátiles en metano casi llegó a aumentar mientras que la conversión completa de VFA de CH₄ se logró a 15 °C o más.

En TSA de Noordwijk durante el periodo más caliente del verano (T = 15 - 18 °C) se observó que una parte de la materia orgánica acumulada previamente durante el invierno se convierte en biogás, por lo que la

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

eficiencia de remoción de DBO temporalmente alcanzó valores superiores al 100%.

Generalmente la eficiencia de tratamiento expresado en DBO y DQO durante el periodo de estudio de 2 años fue 31% y 38% respectivamente.

El TSA de Kooywijk se obtuvo eficiencias de remoción bajas, probablemente debido a la turbulencia causada por las fuertes actividades de mantenimiento.

El TSA de Bennekon logro una eficiencia de DQO y DBO razonable basado en la acumulación de lodos en el reactor que de la conversión a metano.

La eficiencia de remoción mejoro considerablemente los 16 meses después de la puesta en marcha en el segundo año de operación del sistema. Desafortunadamente después de los 2 años la experiencia tenía que concluir de modo que no se sabe el rendimiento a largo plazo del TSA.

CAPITULO V

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

5.1 UBICACIÓN DE LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS DE FLUJO ASCENDENTE

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se ha diseñado un sistema de Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) conformado por 3 unidades, las cuales serán denominadas “Tanque de alimentación”, “TSA” y “Tanque de almacenamiento”, respectivamente. Estas unidades han sido ubicados en un área muy cercana a las rejas gruesas por la facilidad de captar el afluente proveniente del colector Huaycan y por medio del bombeo el desagüe conducirlo hacia la planta piloto de Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA1, TSA2 y TSA3) instalado al frente de la Caseta de Bombeo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo. (Ver Fig. N° 5.1 y 5.2).



Figura 5. 1: Ubicación de la planta Piloto de Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente dentro de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

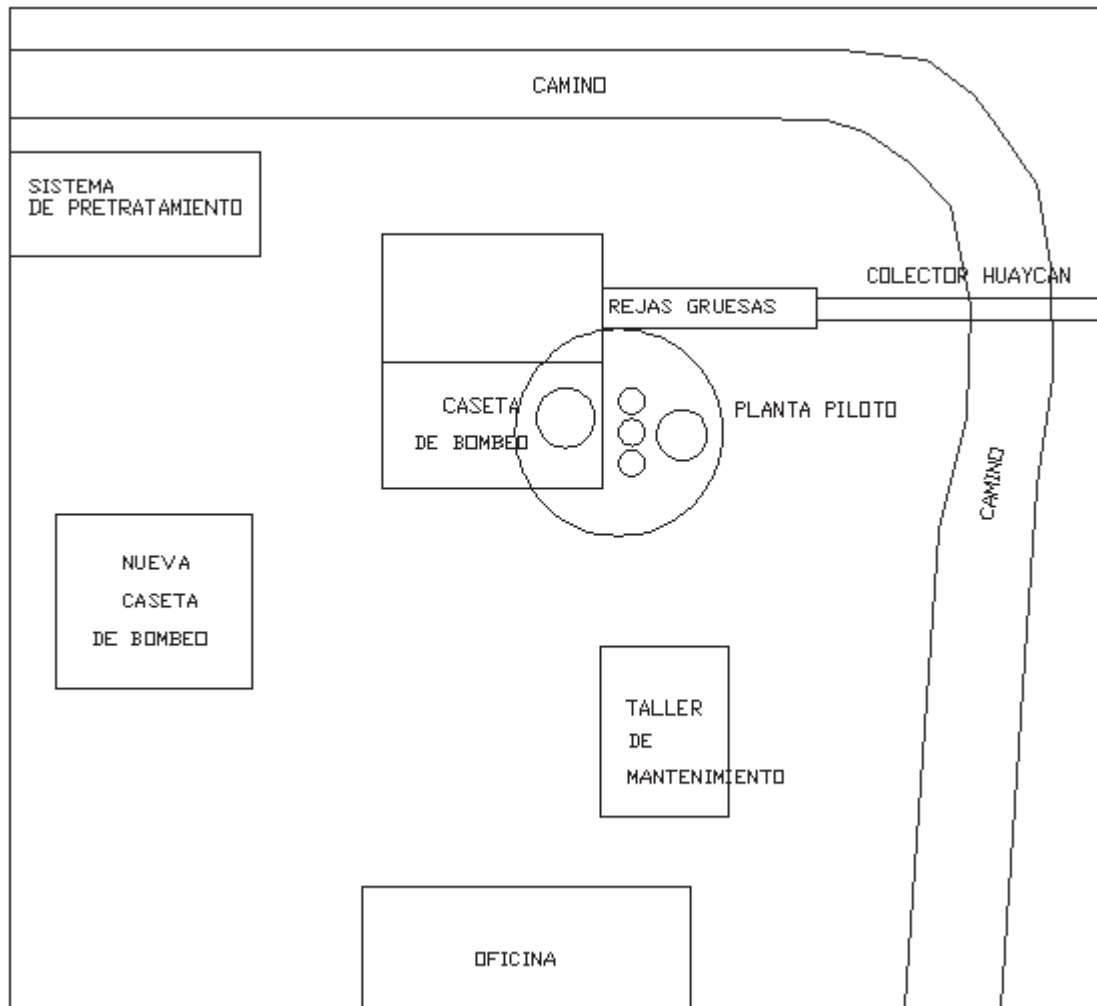


Figura 5. 2: Ubicación de la planta Piloto de Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente.

5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA PILOTO DE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA)

La Planta TSA a escala laboratorio esta conformado por las siguientes unidades:

- Un tanque de alimentación, conformado por un cilindro de plástico.
- Un sistema de distribución, conformado por tuberías y accesorios.
- Tres TSA, constituido de un cilindro de PVC con base de PVC y cinco grifos de recolección a diferentes alturas, un grifo para purgar el lodo dentro del TSA, separador de fases y deflectores al interior del cilindro.
- Un tanque de almacenamiento, conformado por un cilindro de plástico.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Las dimensiones de las unidades en mención son las siguientes:

- Tanque de alimentación; cilindro de plástico de 200 L de capacidad.
- Sistema de distribución, conformado por tuberías de ½ pulgada y codos, tees, y grifos de ½ pulgada y manguera latex (estándar)
- TSA (tres unidades) es de material PVC color naranja y 10 pulgadas de diámetro de 6 mm; las dimensiones de sus componentes son:

TSA 1:

- ❖ Reactor Biológico; Forma circular, 0.25m de diámetro (área 0.05 m²) con una altura de 1.5 mL. (vol. 0.066 m³)
- ❖ Separador de fase: Forma circular, material de plástico, de 0.17m de altura y de 0.11 m de diámetro.
- ❖ Deflectores: Material de caucho, forma circular y de 0.42 m de ancho.

TSA 2:

- ❖ Reactor Biológico; Forma circular, 0.25m de diámetro (área 0.05 m²) con una altura de 1.2 mL. (vol. 0.055 m³)
- ❖ Separador de fase: Forma circular, material de plástico, de 0.17m de altura y de 0.11 m de diámetro
- ❖ Deflectores: Material de caucho, forma circular y de 0.42 m de ancho.

TSA 3:

- ❖ Reactor Biológico; Forma circular, 0.25m de diámetro (área 0.05 m²) con una altura de 0.9 mL. (vol. 0.044 m³)
- ❖ Separador de fase: Forma circular, material de plástico, de 0.17m de altura y de 0.11 m de diámetro
- ❖ Deflectores: Material de caucho, forma circular y de 0.42 m de ancho.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Foto 5. 1: Vista de la planta TSA a escala piloto.

5.3 FABRICACIÓN DE LA PLANTA TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA)

5.3.1 Materiales

Los materiales usados para la fabricación, montaje e implementación de la planta TSA a escala piloto, se menciona a continuación:

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

a) Sistema de alimentación

- ✓ Bomba de desagüe
- ✓ Un temporizador programado cada 4 horas por un tiempo de 2 minutos.
- ✓ Cilindro de plástico de 200L.
- ✓ Flotador esférico.
- ✓ Varilla de bronce de 3/8".
- ✓ 1 Tanque de 200 litros de plástico.
- ✓ Cemento Disolvente para tubería de PVC.
- ✓ Tubería de PVC de 1/2".

Las fotografías 5.2, 5.3 y 5.4 muestran los componentes del sistema de alimentación del TSA.



Foto 5. 2: Vista frontal del Tanque de Alimentación. (1)Salida del afluente del reactor.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

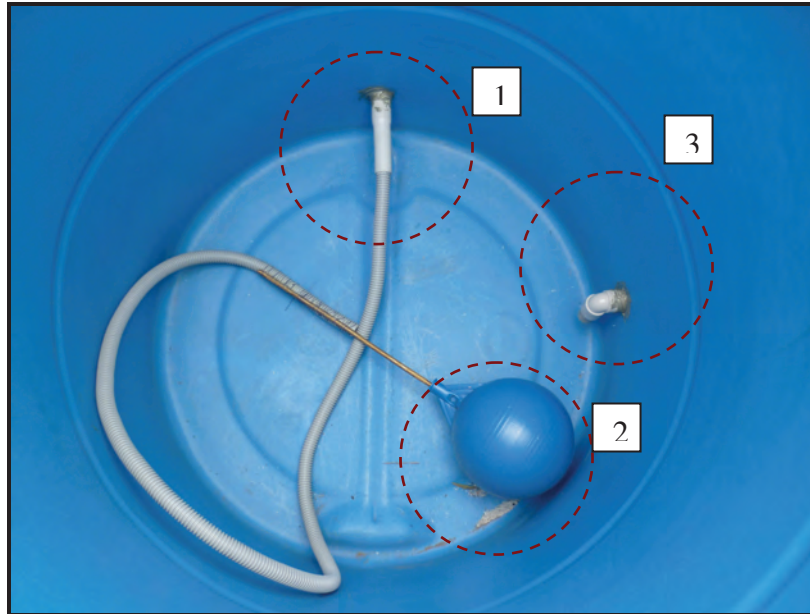


Foto 5. 3: Se aprecia el interior del Tanque de alimentación. (1)Salida del afluente del reactor. (2)Flotador Esférico con varilla de bronce de 3/8". (3)Tubería de purga.



Foto 5. 4: Tanque de alimentación lleno. (4) Malla mosquitera de plástico.

b) Sistema de distribución

- ✓ Manguera látex de 3/8".
- ✓ Accesorios para la manguera como uniones, tranqueras.
- ✓ Soldimix de 10 minutos.
- ✓ Grifos de 3/8" para regular el caudal.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

- ✓ Cemento Disolvente para tubería de PVC.
- ✓ Tubería de PVC de ½”.

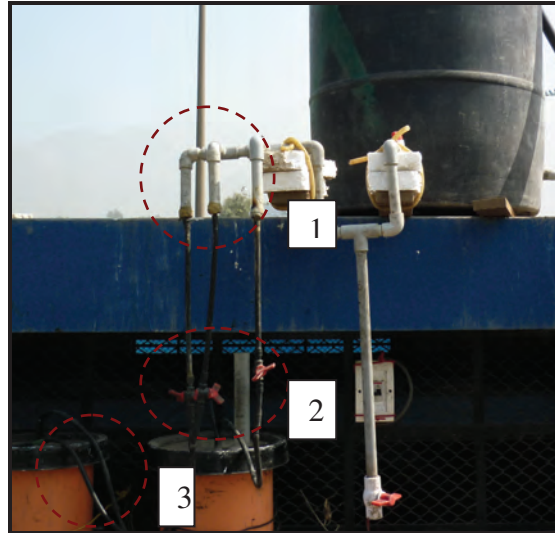


Foto 5. 5: Sistema de distribución. (1) Tubería de PVC de ½” para la distribución de los 3 reactores. (2) Grifos de 3/8”. (3) Mangueras látex de 3/8”.

c) Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente

- ✓ Uhu para pegar plástico con plástico.
- ✓ 3 Canaletas de ½” para cables eléctricos.
- ✓ Tapón para las tuberías de 10 pulg.
- ✓ Lapiceros de plástico, para realizar las salidas del reactor.
- ✓ Tubería de 10 pulg.
- ✓ Embudos de plástico N°20.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

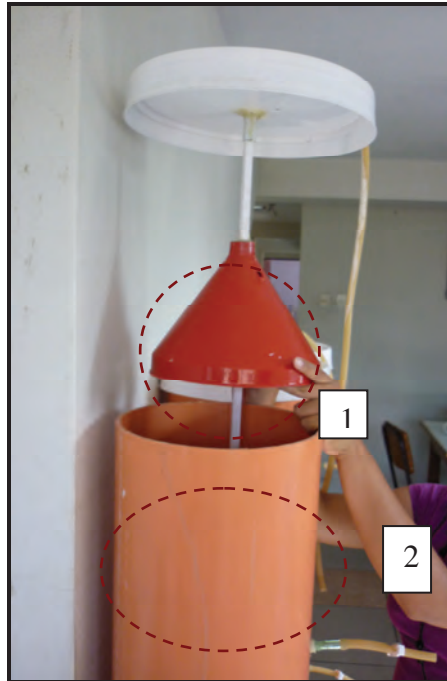


Foto 5. 6: Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente. (1) Embudo de plástico N°20. (2) Tubería de 10 pulgadas.

d) Sistema de almacenamiento

- ✓ 1 Tanque de 200 litros de plástico.
- ✓ Una bomba de agua de 1.5 lps, 0.5HP.

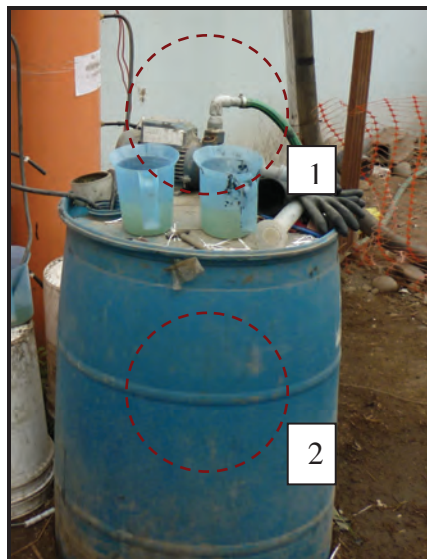


Foto 5. 7: Tanque Almacenamiento. (1) Bomba de agua de 0.5HP. (2) Tanque de 200 litros de plástico.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

5.3.2 Herramientas

- ✓ Soldimix 30minutos
- ✓ Taladro
- ✓ Brocas para taladro N°
- ✓ Bibiriqui

5.4. CRITERIOS DE DISEÑO:

5.4.1. Tanque Septico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA)

(i) Criterios de diseño

Para el diseño y construcción del Tanque Septico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) se tuvo en cuenta varios factores y recomendaciones, tanto de la literatura como de personas que han tenido experiencia en realizar investigaciones. A continuación se indican:

- Teniendo en cuenta la alta carga orgánica que recibe la PTAR Carapongo proveniente del colector Huaycan. Se diseñara 03 reactores UASB septic tank para cumplir con los objetivos de la tesis.
- Se tomó como tiempo de retención hidráulica (PRH) de 18, 15 y 12 horas para TSA1, TSA2 y TSA3 respectivamente. En la literatura figuran estudios para PRH de 1 a 4 días; pero por facilidad de seguimiento de las variables del proceso a nivel piloto y con base en estudios realizados en la Universidad de Birzeit – Palestina escogimos dichos rangos de PRH.
- El caudal de diseño se determinó teniendo en cuenta que el sistema trabaja a gravedad. El caudal de diseño es 88.56 L/día y es constante.
- El TSA cuenta con una campana separadora de fases y deflectores para mejorar la hidráulica del TSA.
- Se instaló una botella de mariotte para hallar el volumen de gas producido en el TSA. La botella de mariotte consiste de una botella cerrada herméticamente que contiene agua, el desplazamiento del agua es proporcional al volumen del biogás que ingresa a la botella mariotte. No se diseñó un post-tratamiento para el biogás.
- Los TSA están hechos de PVC, ya que este material presenta buena resistencia y no permite que la luz ingrese al interior.

(ii) Forma del reactor biológico

Este diseño puede hacerse en forma rectangular o cilíndrica. Se escogió la cilíndrica en virtud de las ventajas hidrodinámicas como por ejemplo, la

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

menor posibilidad de formación de zonas muertas, además del tamaño, volumen, carga y caudal que se propuso manejar.

(iii) Cálculo basado en el criterio de velocidad de flujo

Para la determinación de la velocidad de flujo ascendente como uno de los parámetros de diseño, se partió de variables conocidas tales como: Área y volumen del reactor a partir del diámetro y la altura efectiva.

Con estos datos se realizó el diseño, así:

Volumen del reactor (V_R):

$$V_R = TRH \cdot Q$$

Donde:

THR: Tiempo hidráulico de Retención (h).

Q: Caudal (L/día)

$$V_R = (16 \text{ h}) \cdot (88.56 \text{ L/día}) \cdot (1 \text{ día}/24 \text{ h}) = 0.059 \text{ m}^3$$

Area del reactor (A_R):

$$A_R = \pi \cdot D^2 / 4$$

Donde:

D: Diámetro del Reactor (m).

$$A_R = \pi \cdot (0.25 \text{ m})^2 / 4 = 0.05 \text{ m}^2$$

Altura efectiva del reactor (L):

$$L = 4 \cdot V_R / \pi \cdot D^2$$

Donde:

Vr: Volumen del reactor (m^3).

D: Diametro del Reactor (m).

$$L = 4 \cdot 0.059 \text{ m}^3 / \pi \cdot (0.25 \text{ m})^2 = 1.20 \text{ m}$$

Carga hidráulica (C_H):

$$C_H = Q / A_R$$

Donde:

Q: Caudal (L/día)

A_R : Area del reactor (m^2)

$$C_H = (88.56 \text{ L/día}) / (0.05 \text{ m}^2) = 0.075 \text{ m/h}$$

Velocidad de flujo en la campana (V_F):

$$V_F = 4 \cdot C_H$$

Donde:

C_H : Carga Hidráulica (m/h).

$$V_F = 4 \cdot 0.075 \text{ m/h} = 0.301 \text{ m/h}$$

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

(iv) Separador gas – líquido – sólido (GLS)

Otra parte importante y crítica en el diseño de un Tanque Septico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) es la campana o separador GLS, el cual es fundamental para lograr un buen funcionamiento del reactor a fin de mantener un lodo sedimentable, un efluente clarificado (libre de gases).

Los parámetros básicos de diseño para las campanas fueron:

Área de abertura ($A_{ABERTURA}$):

$$A_{ABERTURA} = Q/V_F$$

Donde:

Q: Caudal (L/día)

V_F : Velocidad flujo en la campana (m/h).

$$A_{ABERTURA} = (0.00369 \text{ m}^3/\text{h})/0.301 \text{ m/h} = 0.01227 \text{ m}^2 = 122.7 \text{ cm}^2$$

Área de sección transversal de la campana ($A_{CAMPANA}$):

$$A_{CAMPANA} = A_R - A_{ABERTURA} = \pi * R_C^2$$

Donde:

A_R : Área del Reactor (m^2)

$A_{ABERTURA}$: Área de Abertura (m^2)

$$0.05 - 0.01 = \pi * R_C^2$$

$$R_C = 0.11 \text{ m};$$

De donde R_C es el radio mayor de la campana. Por lo tanto:

$$A_{CAMPANA} = 0.04 \text{ m}^2$$

Ancho de la abertura (W_A):

$$W_A = R_R - R_C$$

Donde:

R_R = Radio del reactor (m).

R_C = Radio mayor de la campana (m).

$$W_A = 0.125 \text{ m} - 0.108 \text{ m}$$

$$W_A = 0.0167 \text{ m}$$

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

$$W_G = R_R - W_A - 0.5 * (H_T);$$

Dónde:

W_G : Ancho entre la campana y el reactor (cm).

R_R : Radio del Reactor (cm).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

W_A : Ancho de la abertura (cm).

H_T : Altura tope del separador GLS (cm).

$$W_G = 12,5\text{cm} - 1,67\text{cm} - 0,5 * 2\text{cm}$$

$$W_G = 9.83 \text{ cm}$$

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

Altura de la campana (H_G):

$$H_G = W_G \tan \alpha$$

Donde:

W_G : Ancho entre la campana y el reactor (cm).

$$H_G = 17.02 \text{ cm}$$

Traslapo (T_V):

$$T_V = 1.5 * (W_A)$$

Donde:

W_A : Ancho de la abertura (cm).

$$T_V = 2.51 \text{ cm}$$

Ancho de los deflectores (W_D):

$$W_D = T_V + W_A$$

$$W_D = 4.19 \text{ cm}$$

Longitud de los deflectores (L_D):

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

$$L_D = 8.37 \text{ cm}$$

La campana o separador GLS quedó finalmente dimensionada de la siguiente manera:

Las fotografías 5.8 y 5.9 muestran los componentes del Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Foto 5. 8: (1) Dispositivo separador de fases.

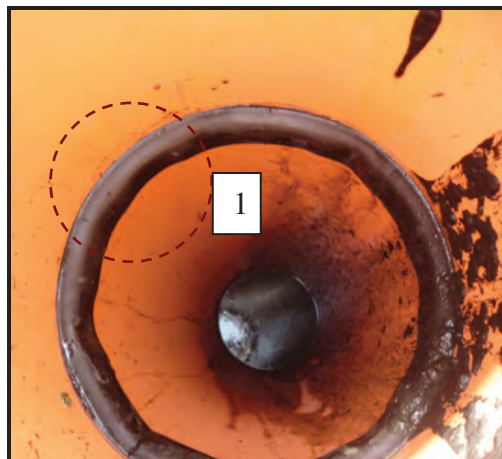
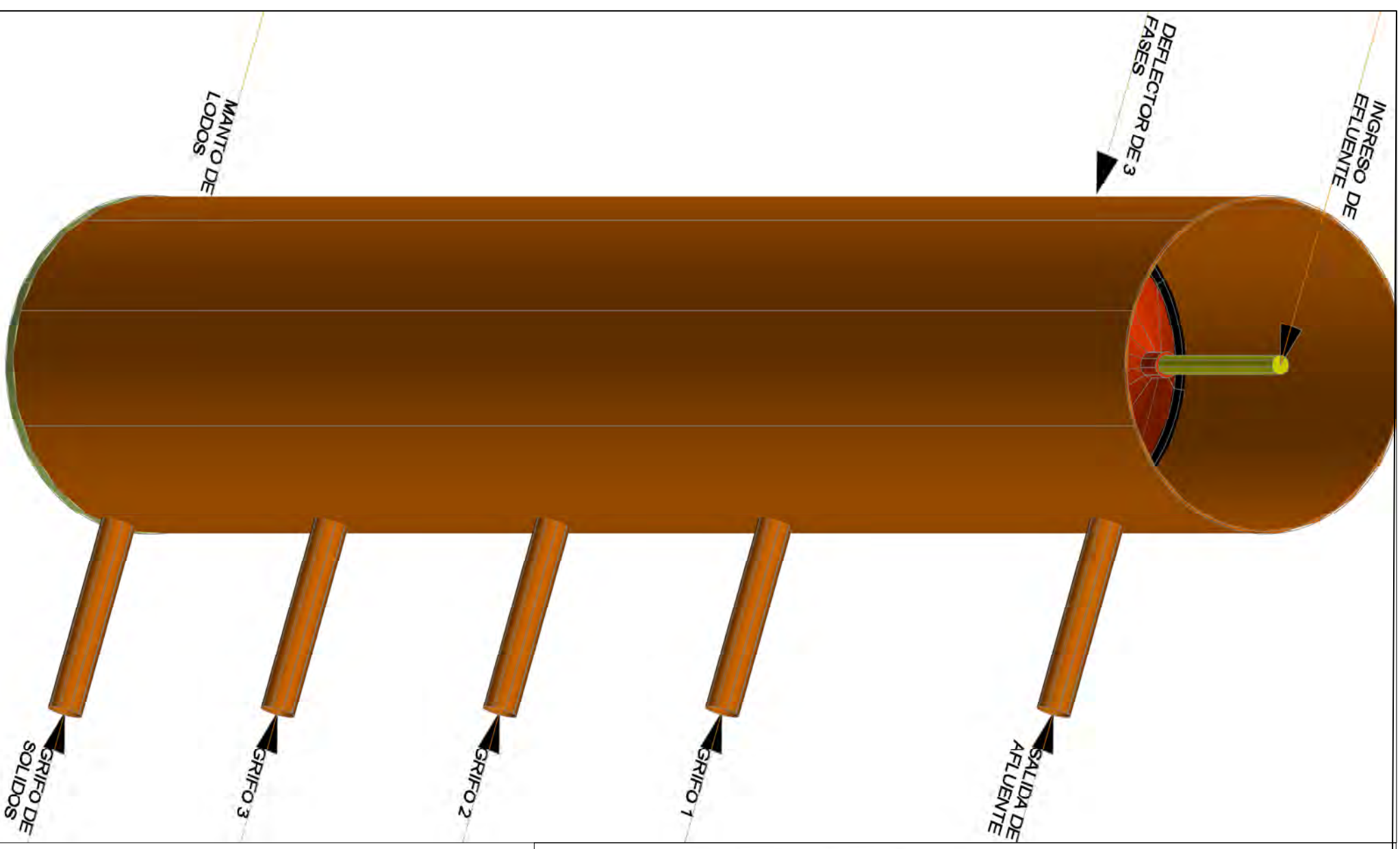
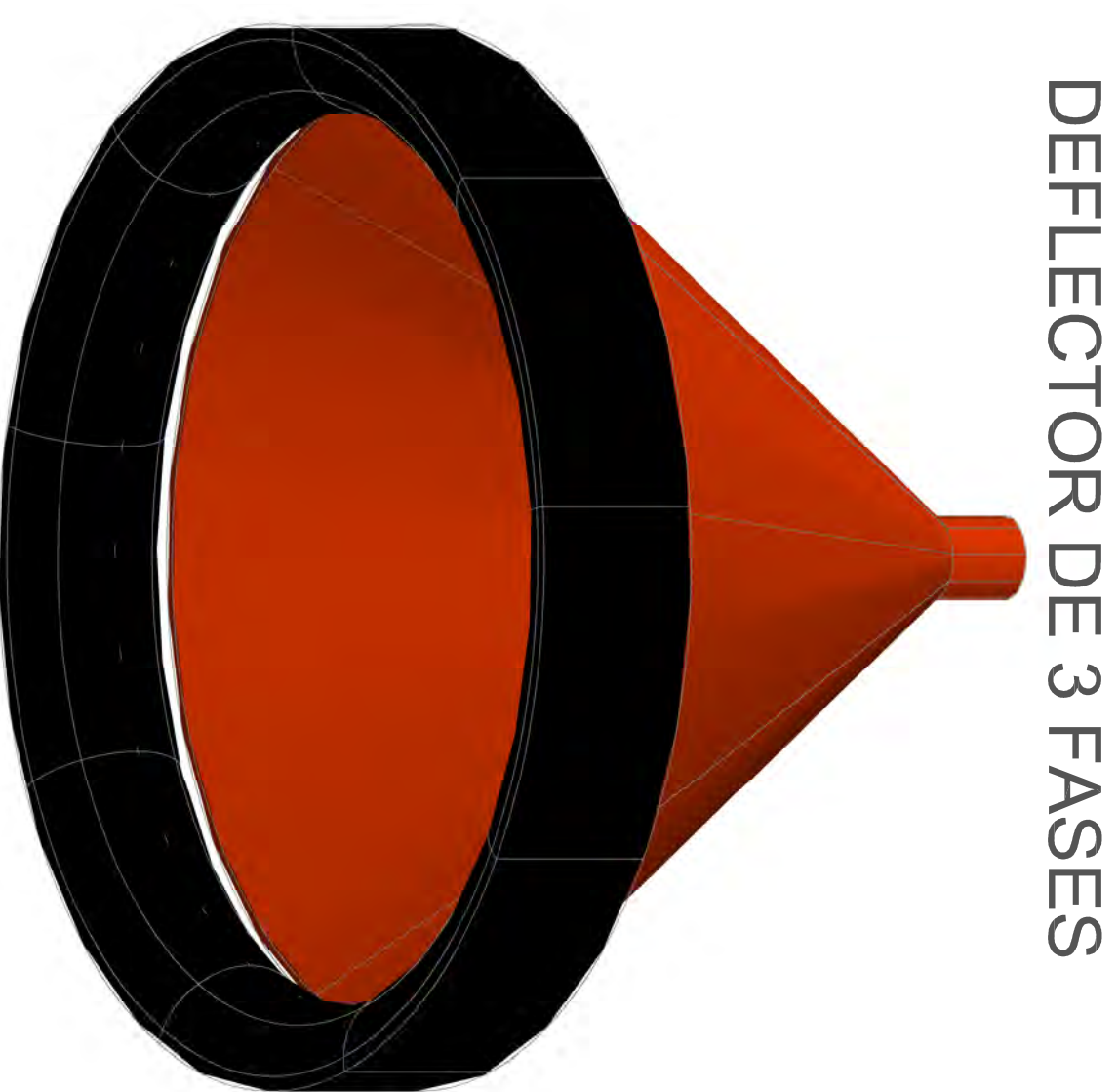
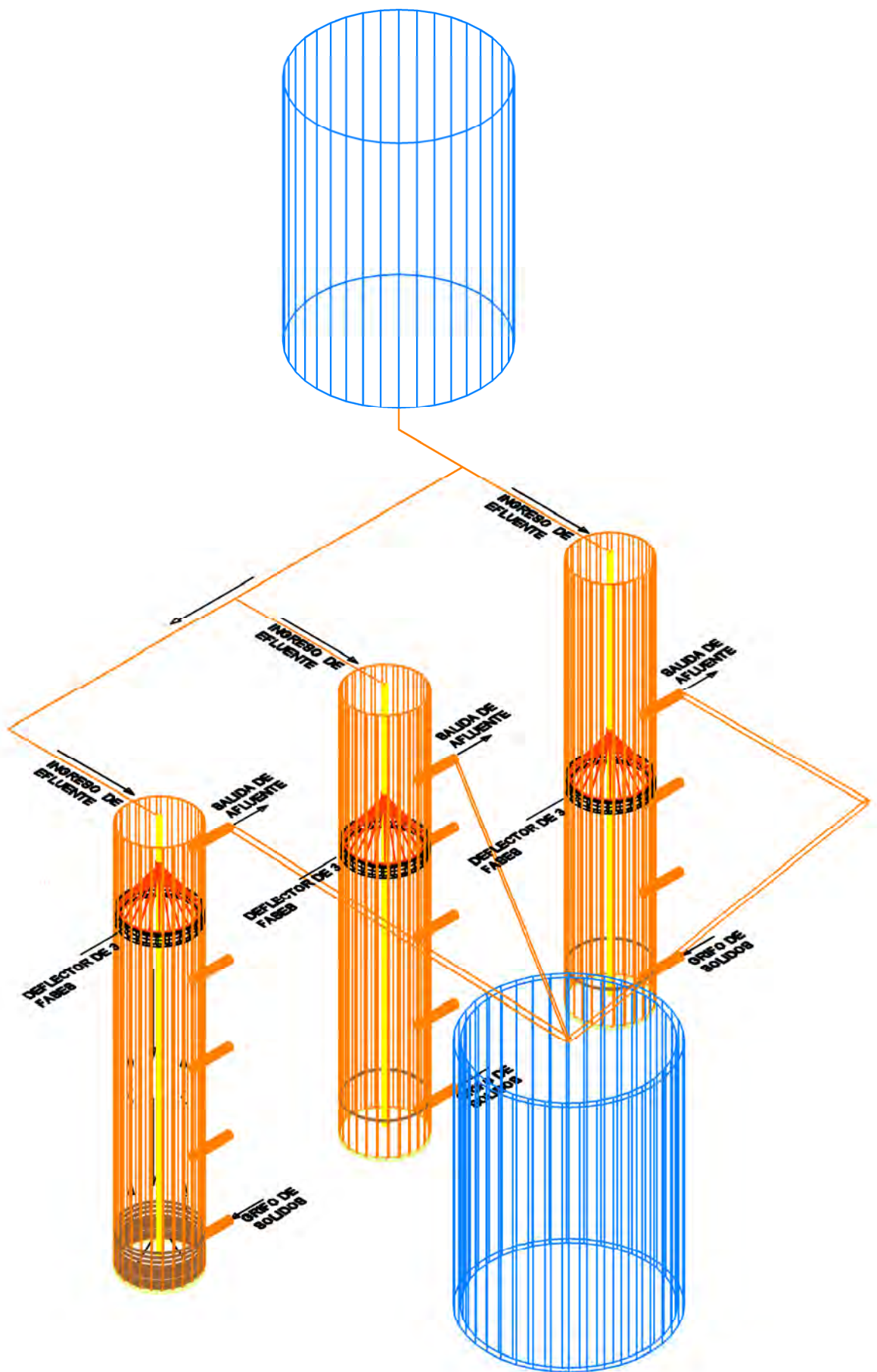


Foto 5. 9: (1) Deflector adosado alrededor del reactor.



REPRESENTACION
ESQUEMATICA DEL
TANQUE SEPTICO
AVANZADO DE FLUJO
ASCENDENTE



CAPITULO VI

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

6.1 IMPLEMENTACIÓN DEL TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA)

6.1.1 Caracterización del Agua Residual del Colector Huaycan

La caracterización del agua residual del colector Huaycan en la PTAR de Carapongo consistió en la medición de los siguientes parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH y temperatura.

Tabla 6. 1. Caracterización del efluente del colector Huaycan.

Caracterización del efluente del colector Huaycan				
Fecha	DBO (en mg/l)	DQO (en mg/l)	pH	Temperatura (en °C)
14/07/2010	344.24	614	7	22
19/08/2010	655.05	979	7	20
10/09/2010	489.65	1118	7	26

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo también realiza la caracterización del afluente que ingresa a la PTAR. A continuación se muestra un cuadro resumen de los valores reportados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Carapongo (colector Huaycan y Chosica) durante el desarrollo de la tesis.

Tabla 6. 2: Caracterización del efluente que ingresa a las rejas mecanizadas de la PTAR Carapongo y obtenido de la mezcla del desagüe del colector Huaycan y Chosica.

Fecha	DBO (en mg/l)
Enero 2010	240
Febrero 2010	248
Marzo 2010	254
Abril 2010	238
Mayo 2010	419

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Junio 2010	394
Julio 2010	223
Agosto 2010	214
Setiembre 2010	272
Octubre 2010	268
Noviembre 2010	226

6.1.2 Composición del Lodo proveniente de CITRAR-UNI.

La caracterización del lodo se realizó de la muestra obtenida el 14 de abril del 2010 para la inoculación y arranque de los reactores TSA. Los datos obtenidos son:

Tabla 6. 3: Caracterización del lodo anaerobio proveniente del UASB ubicado en CITRAR-UNI.

Descripción	Unidad
Demanda Química de Oxígeno (en mg/l)	696
Sólidos Totales (en mg/L)	119268
Sólidos Disueltos (en mg/L)	736
Sólidos Suspendidos Totales (en mg/L)	118532


6.1.3 Montaje e implementación de los reactores Tanque Séptico

Avanzado de Flujo Ascendente (TSA)

En el desarrollo de esta etapa se tuvo que realizar varias modificaciones respecto al montaje inicial, lo cual se indica a continuación.

Tabla 6. 4: Montaje e implementación de los reactores Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA), descripción, problemas y las soluciones encontradas durante la investigación.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Montaje	Descripción	Problemas	Solución
	<p>Almacenamiento: 3 tanques (T1, T2 y T3). Cuenta con tubería de purga.</p> <p>Llenado manual.</p> <p>Sistema de distribución cuenta c/u con 02 válvulas para aforar.</p> <p>El efluente es recogido mediante una canaleta.</p>	<p>Problemas de algas dentro del reactor y en el sistema de distribución.</p> <p>Dificultades para recoger el efluente. No se cuenta de desnivel para su eliminación por gravedad.</p>	<p>Pintado de las mangueras y tapas de los reactores TSA con pintura látex de color negro.</p> <p>Se incorporo un tanque para almacenar el efluente y posteriormente bombeado a la captación de la PTAR-Carapongo.</p> <p>Simplicidad del aforo mediante una válvula de paso.</p>

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



<p>El sistema de almacenamiento, llenado, distribución es idéntico al anterior. Se añadió un tanque para almacenar el efluente y un equipo de bombeo.</p>	<p>El afluente contiene gran cantidad de sólidos en suspensión esto produce que los sólidos sedimente en el tanque y no se cuenta con la misma calidad de afluente en todo momento. La operación del sistema demanda demasiado tiempo.</p>	<p>El sistema de almacenamiento cuenta con 01 tanque que distribuye el afluente a los 03 TSA. Se instalo un <i>timer</i> para programar el llenado del tanque. Se instalo una tubería de rebose.</p>
---	--	--

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

	<p>Sistema de almacenamiento: 01 tanque y tubería de rebose y limpieza. Llenado automático. Un solo sistema de distribución.</p>	<p>Atoro en el sistema de distribución que el sistema mantenga un caudal constante. No se identifica el motivo por el cual se producen atoros en las válvulas.</p>	<p>Colocación de rejillas en la manguera de ingreso de desagüe. Instalo un sistema de limpieza que consiste en una válvula a la salida del tanque de almacenamiento. Un válvula de purga en el sistema de distribución.</p>
	<p>Sistema de almacenamiento: 01 tanque, rejilla y cubierta. Tubería de rebose y limpieza Llenado automático Sistema de distribución: válvula a salida del tanque, válvula de purga y accesorio</p>	<p>Persisten los atoros en el sistema.</p>	<p>Cambio del sistema de distribución en su totalidad.</p>

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO


	<p>Sistema de almacenamiento y llenado idéntico al anterior.</p> <p>Sistema de distribución: Mediante un balde se regula el caudal, cuenta con 3 salidas que mediante manguera de látex y válvulas lleva el afluente a los TSA.</p>	<p>No se cuenta con la perdida de carga necesaria para que el sistema funcione.</p>	<p>Se comprobó que los atoros los produce el aire que se almacena en el sistema de distribución.</p> <p>Se considero 2 alternativas: -Aumentar la presión elevando el tanque de almacenamiento. -Regresar al sistema anterior y agregarle una tubería de ventilación.</p>
---	---	---	---



Foto 6. 1: En la fotografía se observa el piloto de TSA 1, 2 y 3 ubicado en la PTAR Carapongo – Sedapal.

Tabla 6. 5: Descripción del piloto de TSA, ventajas y desventajas encontradas durante la investigación.

Descripción	Ventajas	Desventajas
<p>Sistema de almacenamiento: 01 tanque y cámara de rejillas. Tubería de limpieza y rebose. Llenado automático. Sistema de distribución: Válvula a la salida del tanque de almacenamiento, válvula de purga y 03 válvulas para regular el caudal. Tanque de almacenamiento y equipo de bombeo para eliminar el efluente.</p>	<p>Antes la operación duraba 4 horas y se realizaba solo una vez al día. Con las modificaciones realizadas la operación se redujo a 2 horas y permite realizarlo 2 veces al día.</p>	<p>Se bombea el desagüe proveniente del Colector Huaycan que no posee un pre tratamiento por lo cual muy pocas veces ingresan partículas gruesas al sistema. Asu vez, hay riesgo que el sistema se contamine con descargas industriales informales.</p>

6.1.4 Inoculación y Puesta en Marcha de la Planta Piloto del Tanque Séptico Avanzados de Flujo Ascendente (TSA).

a). Inoculación

Para la inoculación de los TSA se utilizó el lodo proveniente del Reactor Anaerobio de flujo ascendente ubicado en CITRAR-UNI. Se extrajo 21 litros a 1.50m de profundidad.



Foto 6. 2: En la fotografía se observa la extracción del lodo proveniente del UASB ubicado en CITRAR-UNI.

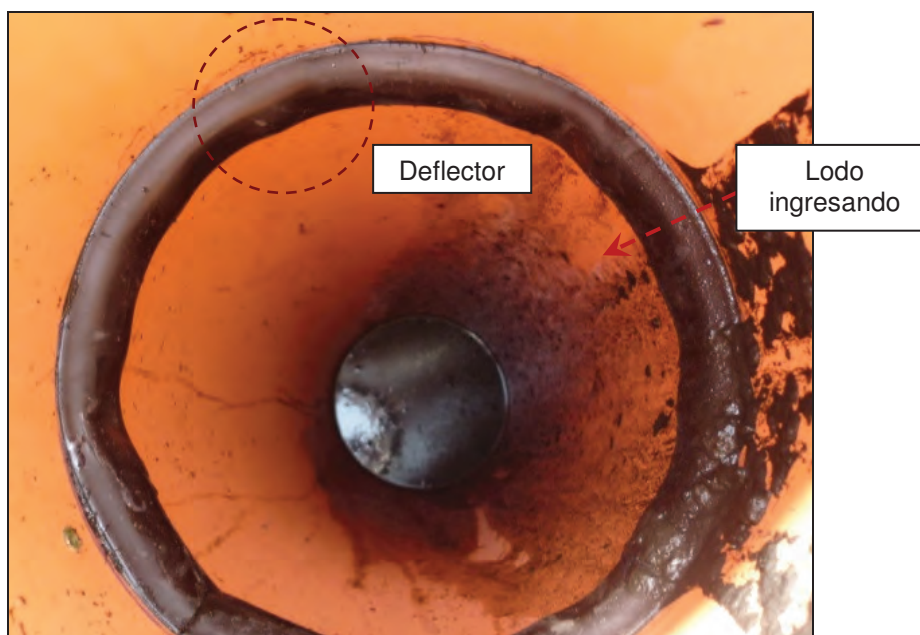


Foto 6. 3: Se aprecia el llenado del lodo en los TSA el cual alcanza 14.2 cm de altura.

b). Arranque

Se usó la metodología descrita en (Sanhueza, 1995). Se procedió a diluir el desagüe. El arranque se inicio con un factor dilución de desagüe del 11% el 14 de abril y finalizo el 14 de julio del 2010. El arranque del sistema demoro debido a problemas en el montaje e implementación de los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA).

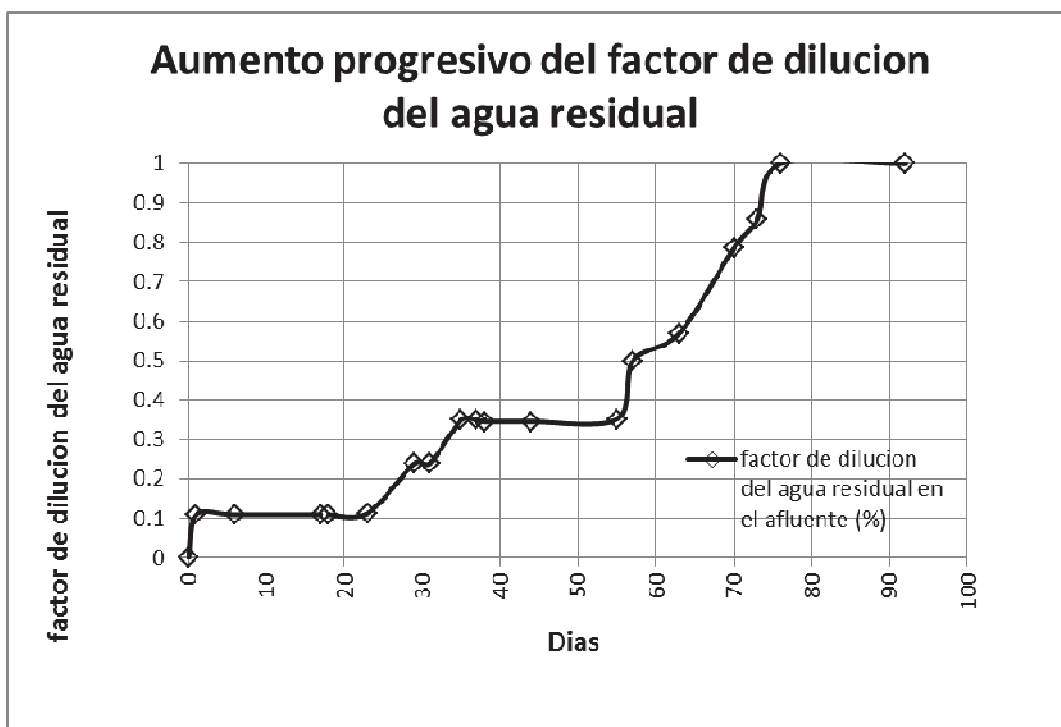


Grafico 6. 1: Curva de la disminución de dilución del agua residual durante el Arranque

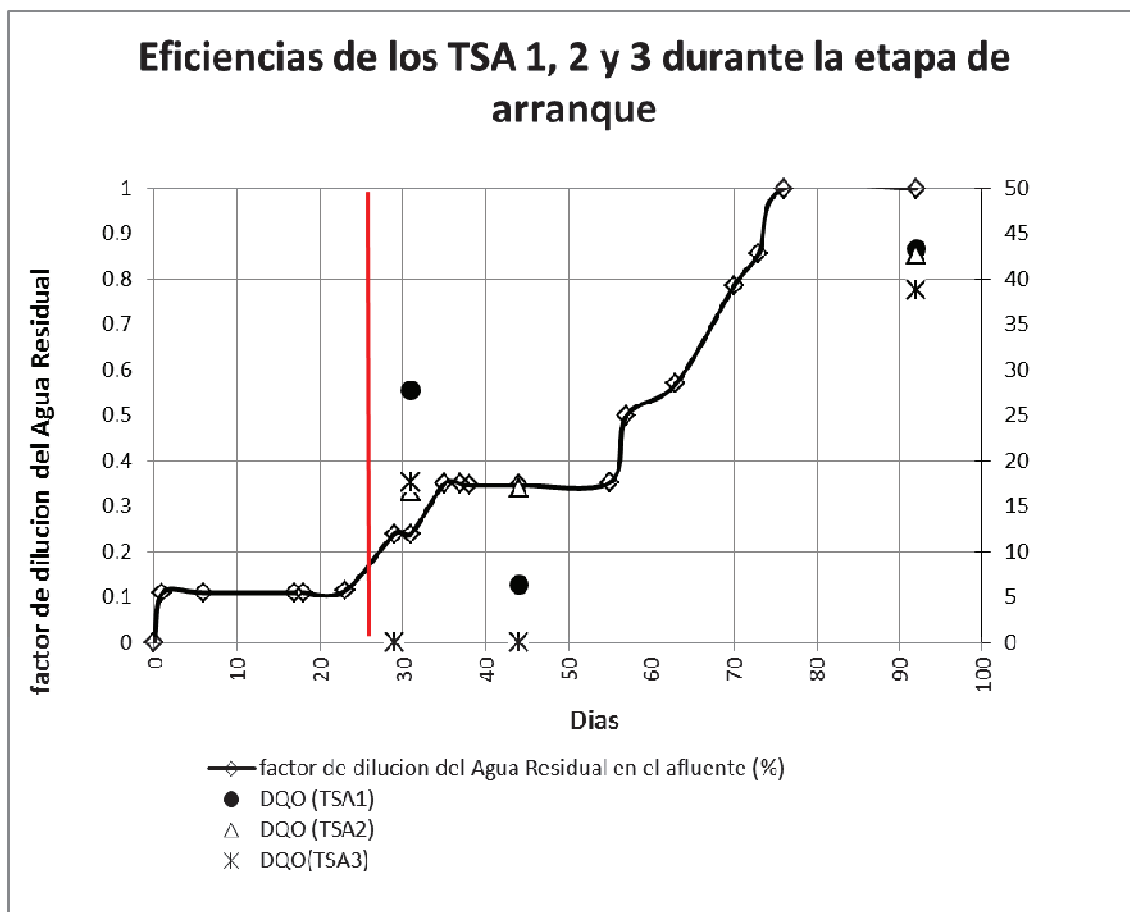


Gráfico 6. 2: Evolución del arranque de los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA)

6.2 MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD METANOGENICA DEL LODO DEL UASB 1 Y 2 UBICADO EN CITRAR-UNI

Comprende:



- Medida de la actividad metanogénica del lodo bajo condiciones ideales.
- La máxima tasa de producción de metano que puede obtenerse con una muestra de lodo en particular.

La medición de la Actividad Metanogénica del lodo anaerobio se realizó 3 veces (ver Tabla 6.6).

Tabla 6. 6: Realización de la medición de la actividad metanogénica de lodos (AME), descripción y resultados obtenidos durante la investigación.

Lugar y fecha	Nombre de reactores	Descripción	Resultados
PTAR-Carapongo de SEDAPAL 3 de agosto del 2010	TSA 1, TSA 2 y TSA 3	Se realizó con el lodo anaerobio de los reactores TSA 1, 2 y 3 ubicados en la PTAR Carapongo de SEDAPAL. La inoculación se realizó el 3 de agosto. Para la prueba se utilizó equipo de venoclisis como manguera que une el recipiente que contiene el lodo y la botella con solución NaOH. Se tuvo problemas de obstrucción. Se utilizó erlemeyer como recipiente que contiene el lodo	Velocidad de sedimentación (ver Tabla 7.1.18) Tamaño y forma (ver foto 7.1; 7.2; 7.3)
CITRAR-UNI 28 de agosto del 2012	R 1 y UASB	Se realizó con el lodo anaerobio de los reactores R 1 y UASB ubicados en CITRAR-UNI. La inoculación se realizó el 28 de agosto de 2012. La experiencia duro 2 semanas. Se realizaron mejoras en el diseño del piloto para la medición del AME como figura en el cuadro xx.	Actividad metanogénica específica del lodo (AME) (ver Tabla 7.1.30)
CITRAR-UNI 3 de noviembre del 2012	R 1, R 2 y UASB	Se realizó con el lodo anaerobio de los reactores R 1, R 2 y UASB ubicados en CITRAR-UNI. La inoculación se realizó La tercera, se realizó del 3 y termino el 17 de noviembre de 2012.	Actividad metanogénica específica del lodo (AME) (ver Tabla 7.1.31)

Tabla 6. 7: Montaje e implementación de los reactores pilotos para la realización de la actividad metanogénica de lodos (AME), descripción, problemas y las soluciones encontradas durante la investigación.

Montaje	Descripción	Problemas	Solución
	<ul style="list-style-type: none"> Los recipientes contienen la solución por el cual pasa el biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> El agua que contienen los recipientes al estar expuesto al sol genera en su interior algas que obstruyen el ingreso del biogás. 	<ul style="list-style-type: none"> Se evitó la formación de algas cubriendo el recipiente con un plástico negro. Además se colocó los recipientes sobre una repisa con agujeros sobre los cuales reposan los recipientes de forma invertida. Se puede apreciar esta configuración en la fotografía 6.4.
	<ul style="list-style-type: none"> Erlenmeyer que contienen el lodo anaerobio. Equipo venoclis utilizado para transportar el biogás del recipiente que contiene el lodo anaerobio al recipiente con solución NaOH. 	<ul style="list-style-type: none"> No tiene sellado hermético. Bolsas de agua en la manguera. Difícil mantenimiento de sistema en casos de obstrucciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Se utilizó botella de boca angosta para que en ellas colocar el lodo anaerobio. Se logra el sellado hermético (ver fotografía 6.6). Se cambió el equipo venoclis por manguera de latex forma de "T". Se logra evitar atoros en la manguera. La configuración de la manguera permite tener un punto de purga (ver fotografía 6.10)

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

A continuación se detalla la metodología de trabajo con el cual se realizó la medición de la actividad metanogénica del lodos (AME).

6.2.1 Metodología De Trabajo

6.2.1.1 Materiales

Los materiales utilizados son los que se indican en la Tabla 6.8:

Tabla 6. 8: Materiales utilizados para las pruebas de medición de la actividad metanogénica de los lodos (AME).

Material	Cantidad
Botella de 300 ml	10 und
Botella de 1000 ml	10 und
Soporte Universal	1 und
Aros de metal	2 und
Agujas hipodérmica N°16	40 und
Manguera de silicón en forma de "Y"	10 und
Accesorios (ganchos, uniones)	30 und
Plástico negro (para envolver las botellas)	4 m ²
Tapón de caucho N°3	20 und
Papel Film	1 rollo
NaOH	-
Azul de Timol	15 L

6.2.1.2 Variable de estudio

En la realización de las pruebas de medición de la actividad metanogénica del lodo las variables son:

- Lodo anaerobio extraído de: Reactor Anaerobio con Manto de Lodo y Flujo Ascendente (UASB) de CITRAR-UNI, Reactor 1 (R1) y Reactor 2 (R2) de la investigación.
- Solución de NaOH

6.2.1.3 Etiquetado de las muestras

Los frascos que contienen el lodo se han etiquetado de la siguiente manera:

- UASB-CS: Contiene lodo extraído del UASB de CITRAR-UNI. El frasco con agua por el cual pasa el biogás contiene la solución de NaOH.
- UASB-SS: Contiene lodo extraído del UASB de CITRAR-UNI. El frasco con agua por el cual pasa el biogás no contiene la solución de NaOH.
- R1-SS_(A y B): Contiene lodo extraído del Reactor 1. El frasco con agua por el cual pasa el biogás no contiene la solución de NaOH. Los sub-índices A y B indican que la prueba se realizó por duplicado.
- R2-SS_(A y B): Contiene lodo extraído del Reactor 2. El frasco con agua por el cual pasa el biogás no contiene la solución de NaOH. Los sub-índices A y B indican que la prueba se realizó por duplicado.
- R1-CS_(A y B): Contiene lodo extraído del Reactor 1. El frasco con agua por el cual pasa el biogás contiene la solución de NaOH. Los sub-índices A y B indican que la prueba se realizó por duplicado.
- R2-CS_(A y B): Contiene lodo extraído del Reactor 2. El frasco con agua por el cual pasa el biogás contiene la solución de NaOH. Los sub-índices A y B indican que la prueba se realizó por duplicado.

Resumiendo, la abreviatura SS indica sin solución de NaOH. Por consiguiente CS indica con solución de NaOH. Los sub-índices A y B indican que la prueba se realizó por duplicado.

6.2.1.4 Instalación

1. Se realizó la prueba de actividad metanogénica específica del lodo (AME) para tres muestras de lodo anaerobio. Las muestras de lodo estudiadas provienen de: UASB de CITRAR-UNI, Reactor 1 y 2 de la investigación. Las pruebas AME se realizaron por duplicado para cada muestra de lodo.

Además de estudiar la actividad metanogénica del lodo de estas tres muestras se estudió como varía la medición de biogás producido al agregarle la solución de NaOH al frasco con agua por el cual se desplaza el biogás. Los 10 pilotos AME se instalaron dentro del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR-UNI) en una área otorgada para la investigación.



Foto 6. 4: Vista fotográfica de los reactores utilizados para la prueba de actividad metanogénica específica, estas son: UASB-CS, UASB-SS, R1-SS(A Y B), R2-SS(A Y B), R1-CS(A Y B) y R2-CS(A Y B).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

2. Con los materiales ya indicados se arma la configuración de los módulos Batch utilizando como reactores a las botellas de 300ml con boca angosta. Se vierte en cada frasco 100 ml de lodo anaerobio y 100 ml de desague. Para la medición de volumen se utilizó una probeta de 50 ml.



Foto 6. 5: Se realizó el vertido de lodo anaerobio de: (a) y (b) que consiste en el lodo extraído de Reactor 1 y 2, respectivamente; (c) consiste en el lodo extraído del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente de CITRAR-UNI.

3. La botella que contiene el lodo anaerobio tiene una salida hermética. La botella está cerrada por medio de un corcho de caucho N° 3. La botella está cubierta de plástico negro para evitar el ingreso de luz solar. El frasco contiene 100 mL lodo anaerobio y 100 mL de desague.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Foto 6. 6: Se muestra el sellado hermético de un reactor. El frasco se une a la manguera de silicona en forma de “Y” mediante una aguja hipodérmica N° 16. La junta entre el frasco y la manguera de silicona se cubre con papel film.



Foto 6. 7: Se muestra los 4 reactores AME instalados sobre una repisa de madera.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

4. El frasco que contiene un tapón bifocal está dispuesto de forma invertida de modo que el gas ascienda hacia la base creando una presión de desalajo. Este frasco contiene la solución de NaOH con una concentración tal que el pH es mayor que 12. Se utilizó el azul de timol como indicador.



Foto 6. 8: Se muestra la solución de NaOH sin azul de timol y luego de verse el indicador.



Foto 6. 9: La foto de la izquierda se aprecia el frasco de 1000 mL con la solución de NaOH después de vertido el azul de timol. La foto de la derecha muestra el frasco ya colocado en el soporte universal el cual tendrá la función de mantener los frascos de agua invertidos y dirigidos hacia las probetas. Para hermetizar el frasco se realiza el mismo procedimiento que el descrito en la fotografía 6.6.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

5. La manguera de silicona conecta el reactor y el frasco con solución de NaOH. Uno de los extremos de la manguera de silicona se usa para purgar. Esta se encuentra cerrada mediante un gancho.



Foto 6. 10 : En el círculo rojo se observa la manguera usada para purgar.

6. Cuando se terminó de instalar los pilotos AME se procedió a la toma de datos. Se inició el 03 y culminó el 17 de noviembre de 2012. Los datos de producción de biogás se tomaron todos los días a las 12:00. La duración de la prueba AME fue de 2 semanas.

6.2.2 Procedimiento de Cálculo

En la presente investigación el procedimiento de cálculo del AME se realizó utilizando 2 metodologías con la finalidad de comparar los resultados.

6.2.2.1 Metodología 1

1. A partir del volumen medido se debe convertir a un volumen a condiciones normales ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), calculándose este volumen con la ecuación de estado del gas ideal.

A su vez, se tiene las siguientes nomenclaturas:

$T_2 = 20^{\circ}\text{C}$, $T_1 =$ Temperatura medida. $V_1 =$ Volumen medido, $V_2 =$ Volumen a 20°C .

2. A partir del volumen calculado a condiciones normales (acumulado) y el tiempo de almacenamiento (acumulado) se halla la tasa de CH_4 (T), la pendiente resultante de la grafica presentada de:

$$T = \frac{\text{Vol(ml)}}{t(\text{hr})}$$

3. La DQO equivalente del metano puede calcularse usando los factores normalizados de conversión de g. de DQO a ml de CH_4 . Los factores de conversión se obtuvieron de la siguiente tabla.

Tabla 6. 9: Tabla de Factores de Conversión para el cálculo del contenido de DQO en el gas metano (A presión atmosférica igual a nivel del mar). Extraído del artículo "Parámetros operativos del reactor de manto de lodos anaeróbicos de flujo ascendente (DET 1994), autor Jim Field".

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

TEMPERATURA °C	1 g DQO L ⁻¹ IGUAL A mL DE CH ₄ REPORTADO	
	CH ₄ SECO	CH ₄ HUMEDO
10	363	367
15	369	376
20	376	385
25	382	394
30	388	405
35	395	418
40	401	433
45	408	450
50	414	471

4. Datos de los Solidos Suspending Volatiles (S.S.V.) obtenidos al inicio y final de la medición AME:
5. Teniendo en cuenta los conceptos anteriores, se presenta la fórmula para hallar la producción de metano respecto de cada unidad de g SSV x d.

$$AME = \frac{TK24}{FG \times Vol Lodo \times SSV \times t} \dots\dots (1)$$

6.2.2.2 Metodología 2

1. Se mide los parámetros DQO, S.S.V. del lodo y del agua residual, tanto al inicio como al final del periodo de medición del AME.
2. Se debe obtener la diferencia del DQO_{inicial} menos DQO_{final}, entre la diferencia de S.S.V. _{inicial} menos S.S.V. _{final}.

$$AME = \frac{DQO_{inicial} - DQO_{final}}{(S.S.V. inicial - S.S.V. final) \times (tiempo)}$$

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

3. Basándose en el balance de masa se obtiene el DQO del gas metano, y los S.S.V. utilizados en cada día. Se presenta las unidades del AME.

$$\text{AME} = \frac{\text{g DQO de CH}_4}{\text{g de S.S.V.} \times \text{d}}$$

6.3 PROGRAMA DE MONITOREO DE LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS DE FLUJO ASCENDENTE

Los análisis respectivos realizados en la planta piloto de los Tanques Sépticos de Flujo Ascendente (TSA) se midieron en forma ínter diario, siendo los parámetros de monitoreo en el efluente y afluente del reactor, los siguientes:

Tabla 6. 10: Parámetros de Monitoreo de los Tanque Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente

PARAMETRO	FRECUENCIA
Ph	Diario
Temperatura	Diario
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1 vez /semana
Demanda Química de Oxígeno	1 vez /semana
Solidos Totales	1 vez /semana
Solidos Suspendidos Totales	1 vez /semana
Solidos Suspendidos Volátiles	1 vez /semana
Turbiedad	1 vez /mes

6.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS TANQUES SÉPTICOS AVANZADOS DE FLUJO ASCENDENTE (TSA).

6.4.1 Operación de los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA)

6.4.1.1 Operación de la bomba de desagüe

La alimentación a los tanques de almacenamiento se realizo usando una bomba de desagüe sumergible ya existente en la PTAR Carapongo y que fue prestada para la realización de la tesis. Para controlar el bombeo se uso un *timer* el cual fue programado de la siguiente manera:

0:00 am ON

0:02 am OFF

4:02 am ON

4:04 am OFF

8:04 am ON

8:06 am OFF

12:06 am ON

12:08 am OFF

4:08 pm ON

4:10 pm OFF

8:10 pm ON

8:12 pm OFF

0:00 am ON

0:02 am OFF

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

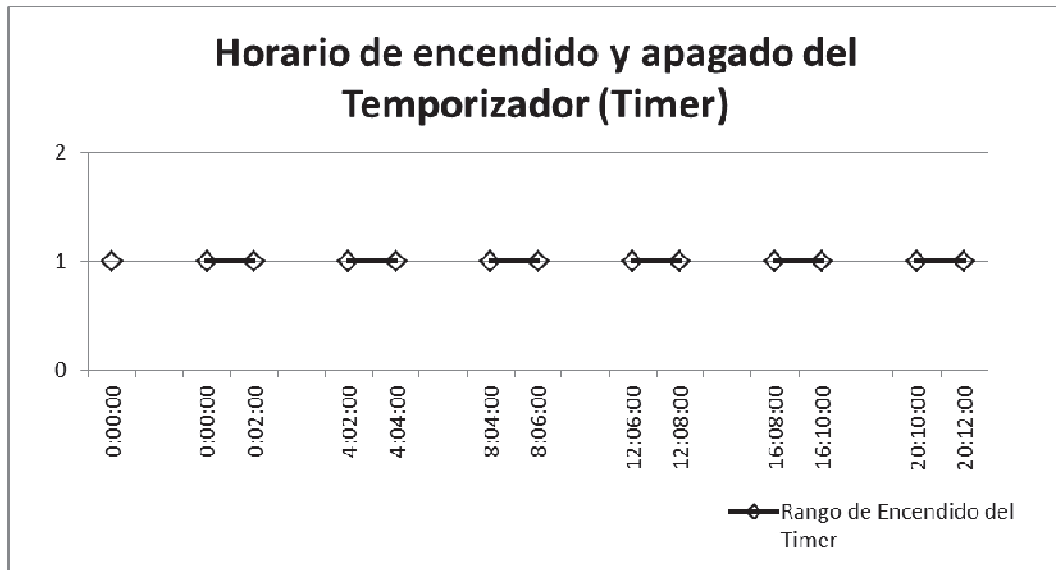


Gráfico N° 6.13: Horario de bombeo del agua residual con la programación del timer.

La operación consiste en revisar que la bomba de desagüe este en funcionamiento y la limpieza de la rejilla de la bomba de desagüe.



Foto 6. 11: La fotografía de la izquierda muestra la captación de agua residual proveniente del colector Huaycan. El círculo rojo N°1 indica la ubicación de la bomba sumergible y el círculo N°2 indica la ubicación del *timer*. En la fotografía de la derecha se muestra el desnivel máximo que se consigue con el bombeo del desagüe.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

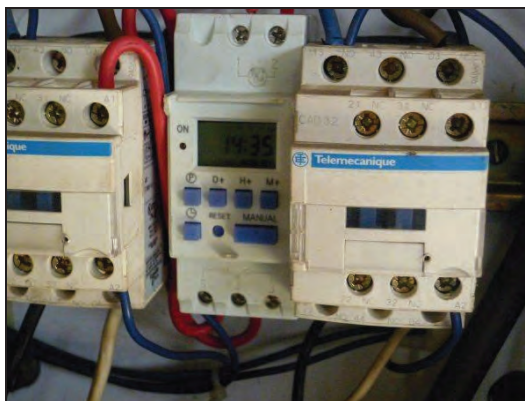


Foto 6. 12: Se aprecia el *timer*.

Cuando la bomba de desagüe se malogró o no se pudo usar la alimentación del sistema se realizó mediante el prendido manual de una bomba de agua. El bombeo mediante una bomba de agua resultó dificultoso por la acumulación de desechos en la rejilla que cuenta la bomba de agua. Cuando no se pudo usar la bomba de agua la alimentación del tanque de almacenamiento se realizó de forma manual con el uso de baldes de 10 litros.

6.4.1.2 Operación del tanque de almacenamiento

La alimentación al reactor se hace mediante un tanque de alimentación de 228 litros la cual permite dosificar y mantener un caudal aproximadamente constante de 61.5 mL/min.

La operación del tanque de almacenamiento es semanal y consiste en la limpieza. El tanque cuenta con una tubería de rebose y de limpieza.

La tubería de rebose es de HDPE y diámetro de 4 pulgadas. La tubería de rebose debe tener la capacidad de evacuar todo el volumen de desagüe que se acumule en el tanque de almacenamiento durante el tiempo que dura el bombeo del desagüe.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

La tubería de limpieza es de PVC y diámetro de ½ pulgada. La tubería de rebose debe tener la capacidad de evacuar todo el volumen del desagüe cuando se requiera.

Esta ubicado en la parte inferior del tanque de almacenamiento. Para realizar la limpieza se debe abrir el grifo y una vez vaciado el tanque de almacenamiento se debe cerrar el grifo.



Foto 6. 13: En la fotografía de la izquierda se aprecia la tubería de limpieza y rebose. En la fotografía de la derecha se aprecia el lodo acumulado en el tanque de almacenamiento.

En caso falle la tubería de rebose se debe apagar el *timer* (OFF) y abrir el grifo de la tubería de limpieza.

En caso se produzca un atoro en la tubería de limpieza y se requiera limpiar el tanque de almacenamiento se debe apagar el timer (OFF) y mediante sifoneo usar la manguera que alimenta al tanque para evacuar todo el volumen de desagüe acumulado en el tanque de alimentación.

6.4.1.3 Operación del sistema de distribución

a) Purga del lodo acumulado en el sistema de distribución

Esta operación es diaria. Previo a la purga se debe desconectar las tuberías de latex que llevan el desagüe a los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA). Se realiza abriendo el grifo de la tubería de purga. Se deja purgar hasta que se aprecie que el

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

desagüe no presente una coloración oscura. Luego se cierra el grifo de la tubería de purga y se abren completamente los grifos que alimentan a los TSA, con esta operación se busca limpiar los sólidos que se acumulan en el grifo. Esta operación se debe efectuar después de la limpieza del tanque de alimentación y antes del aforo del caudal.

La purga del sistema es importante porque sino los sólidos acumulados en la trampa pueden obstaculizar los grifos que alimentan a los TSA.



Foto 6. 14: La fotografía de la izquierda muestra el grifo general con el cual se puede cerrar el ingreso de desagüe a los TSA. La fotografía de la derecha se aprecia la trampa de solidos que se construyo para evitar el ingreso de solidos a los TSA.

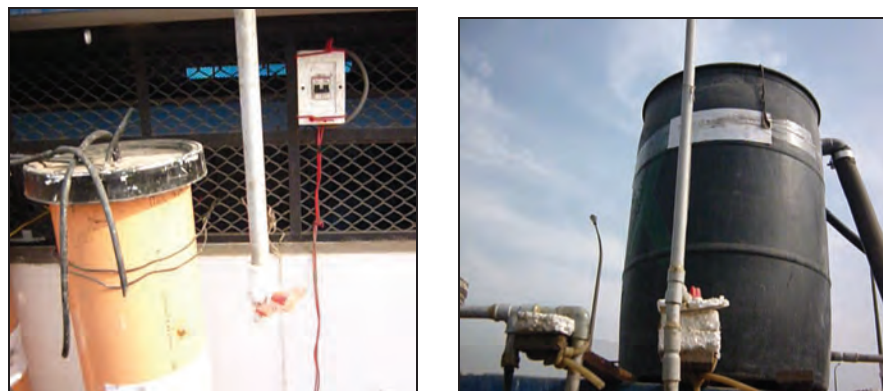


Foto 6. 15: En la fotografía de la izquierda se muestra el grifo que se uso para purga el sistema de distribución. La fotografía de la derecha se muestra la ventilación del sistema de distribución su función es eliminar el aire dentro del sistema de distribución.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

b) Aforo de caudal de ingreso a los TSA

Esta operación es diaria. El aforo se realiza usando 3 grifos de plástico, una probeta de plástico de 100 mL y un cronometro. Con el cronometro se controla un minuto y el volumen acumulado en la probeta debe ser 61.5 mL o un valor cercano.



Foto 6. 16: Se visualiza los 3 grifos que son aforados para controlar el caudal que ingresa a los TSA.

6.4.1.4 Operación del Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA)

a) Muestreo

Esta operación es diaria. Se realizaron las pruebas de campo: Medición de pH y temperatura en los puntos de muestreo.

Materiales:

Papel pH de rango 5-9

Termómetro de mercurio 0 a 50°C

3 frascos de plásticos de 500 mL

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

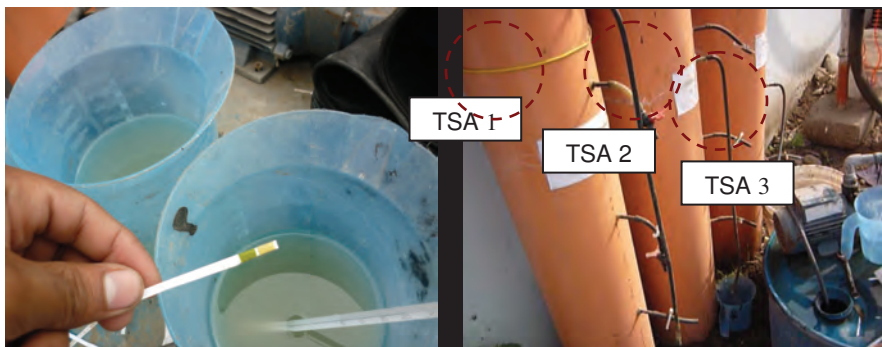


Foto 6. 17: En la fotografía de la izquierda se muestra la medición del Ph. En la fotografía de la derecha se visualiza los grifos que son puntos de muestreo del TSA 1, TSA2, TSA3.

Los TSA cuentan con 4 grifos para muestreo el grifo N° 1, 2 y 3 a 0.30, 0.60, 0.90 m de altura respectivamente. Para el TSA 1 el grifo N° 4 a 1.20 m de altura. Para el TSA 2 el grifo N° 4 a 1.50 m de altura. Para el TSA 3 el grifo N° 4 a 1.80 m de altura. Los TSA cuentan con 1 grifo para evacuar los lodos.

6.4.1.5 Operaciones para lograr la recolección del efluente de los TSA

a) Cebado de la bomba de agua

Se uso una bomba de agua para elevar el desagüe tratado que es recolectado en un tanque y conducirlo hacia la captación del colector Huaycan.

Las herramientas y materiales que se utilizaron: llave inglesa N° 14, frasco de plástico de 500mL y agua.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Foto 6. 18: La fotografía de la izquierda muestra la llave térmica ABBC32 con el cual se prende y apaga la bomba de agua. La fotografía de la derecha muestra la ubicación del tanque donde se almacena el afluente de los TSA y la bomba de agua.

6.4.2 Mantenimiento de los Tanques Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA)

Tabla 6. 11: Programa de Mantenimiento de los Tanque Sépticos Avanzados de Flujo Ascendente (TSA)

LUGAR	ACTIVIDAD	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	OBSERVACIONES
Sistema de alimentacion	Limpieza del tanque de almacenamiento y su componentes		X		Retiro de desechos acumulados en el fondo del tanque y limpieza de la malla que cubre la tubería de alimentacion.
	Revisión de la bomba de desague	X			Revisar si la bomba de desagües esta funcionando con normalidad; revisar si la rejilla de la bomba no este taponeado; revisar que el timer este en funcionamiento.
Sistema de distribución	Aforo de caudal de ingreso a los UASB	X			Aforar hasta obtener el caudal de diseño.
	Purga del lodo acumulado en el sistema de distribución	X			Se debe de realizar antes del aforo.
	Eliminación de aire en el sistema de distribución	X			Se debe de realizar antes del aforo.
UASB	Limpieza de mangueras			X	Se retira la manguera de latex y se limpieza usando agua.
	Limpieza de separador de fases			X	Limpieza de la superficie usando un trapo.
	Muestreo	X	X		Muestreo para pruebas de campo y laboratorio.
Recolección de efluente del UASB	Cebado de la bomba	X			Se uso agua para cebar la bomba.
	Bombeo del tanque de recolección del efluente	X			El prendido de la bomba es manual, se debe pagar la bomba antes que ella empiece a bombear aire.

6.5 ACTIVIDADES DESARROLLADAS

14 de abril 2010: inoculación de los reactores. Se inicia el arranque con un caudal de 35 ml/min . Dilución al 11%

30 de abril 2010: colocación de la bomba.

5 de mayo 2010: inicio de monitoreo de ph y temperatura.

7 de mayo 2010: limpieza de los tanques para eliminar los insectos que han proliferado estos días.

12 de mayo 2010: aumento de la dilución y caudal a 24% y 60ml/min, respectivamente.

18 de mayo 2010: aumento de la dilución al 35%.

5 de junio 2010: se vaciaron los tanques porque hubo formación de algas. El efluente recolectado contiene espuma y algas.

8 de junio 2010: el efluente presenta mejores características, esta blanco. Empieza a salir partículas blancas de los TSA.

9 de junio 2010: Aumento de la dilución al 50%.

15 de junio 2010: Aumento de la dilución al 57%.

22 de junio 2010: Aumento de la dilución al 78.57%.

24 de junio 2010: el efluente presenta una mayor clarificación respecto al afluente.

25 de junio 2010: Aumento de la dilución al 85.71%.

28 de junio 2010: el afluente tratado es desagüe crudo.

1 de julio 2010: se coloca rejillas en los ingresos.

3 de julio 2010: el afluente sufrió contaminación de afluente denso y oscuro y se observa presencia de lodo en el afluente.

17 de julio 2010: Al sistema de distribución de caudal se agrego una tubería que sirva como ventilación y se evite atoros provocados por las burbujas de aire en los grifos que regulan el caudal de ingreso a los TSA.

21 de julio 2010: El separador de fases de los TSA presentan adheridos gran cantidad de sólidos por lo cual se realizara mantenimiento de los TSA.

24 de julio 2010: El desagüe presenta un color negro que contamina los TSA.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

27 de julio 2010: Se observa la eliminación de grasa dentro de los TSA y el efluente no tiene presencia de grasa o petróleo.

28 de julio 2010: El efluente del TSA presenta partículas de lodo de color negro y blanco.

03 de agosto 2010: Se sacó lodo de los TSA. Primera prueba AME en los reactores TSA 1, 2 y 3.

04 de agosto 2010: En ninguno de los TSA se aprecia partículas de lodo en el efluente.

16 de agosto 2010: El TSA3 presenta obstrucción en la manguera y el grifo regulador de caudal. Se realizó mantenimiento.

29 de agosto 2010: Se malogro la bomba de desagüe.

25 de setiembre 2010: Cambio de tubería de alimentación dentro del TSA. Se terminó de diseñar los tanques *mariotte* pero no se instaló.

07 de octubre 2010: Se arregló la bomba de desagüe. Se La bomba de desagüe no lograba llenar el tanque de alimentación debido a toros. El pH del efluente disminuyo.

08 de octubre 2010: La bomba se obstruyo, los reactores están sin ingreso de caudal de desagüe.

14 de octubre 2010: El TSA1 presenta obstrucción en la manguera y el grifo regulador de caudal

19 de octubre 2010: El TSA2 presenta obstrucción en la manguera y el grifo regulador de caudal

21 de octubre 2010: Muestreo de análisis bacteriológicos en los TSA1, TSA2 y TSA3. Una botella para análisis de helmintos estuvo dañada.

28 de noviembre: Se rompió el termómetro. El TSA1 presenta obstrucción en la manguera y el grifo regulador de caudal, se hizo mantenimiento. El lodo del TSA1 subió hasta el separador de fases.

12 de diciembre 2010: Se rompió el termómetro.

6 de marzo del 2012: Calibración del caudal de los reactores R-01 y R-02 para un PRH de 12 horas.

7 de marzo del 2012: Retiro de lodo anaerobio de los reactores R-01 y R-02, medición de la altura de lodo en los reactores. Medición de la alcalinidad, sólidos suspendidos y velocidad de sedimentación.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

13 de marzo del 2012: Calibración del caudal de los reactores R-01 y R-02 para un PRH de 12 horas.

14 de marzo del 2012: Retiro de lodo anaerobio de los reactores R-01 y R-02, medición de la altura de lodo en los reactores. Medición de la alcalinidad, solidos suspendidos y velocidad de sedimentación.

28 de marzo del 2012: Calibración del caudal de los reactores R-01 y R-02 para un PRH de 15 horas.

29 de marzo del 2012: Retiro de lodo anaerobio de los reactores R-01 y R-02, medición de la altura de lodo en los reactores. Medición de la alcalinidad, solidos suspendidos y velocidad de sedimentación.

19 de abril del 2012: Calibración del caudal de los reactores R-01 y R-02 para un PRH de 15 horas.

20 de abril del 2012: Retiro de lodo anaerobio de los reactores R-01 y R-02, medición de la altura de lodo en los reactores. Medición de la alcalinidad, solidos suspendidos y velocidad de sedimentación.

03 de mayo del 2012: Calibración del caudal de los reactores R-01 y R-02 para un PRH de 18 horas.

04 de mayo del 2012: Retiro de lodo anaerobio de los reactores R-01 y R-02, medición de la altura de lodo en los reactores. Medición de la alcalinidad, solidos suspendidos y velocidad de sedimentación. También se realizó el parámetro de la viscosidad del lodo.

22 de junio del 2012: Calibración del caudal de los reactores R-01 y R-02 para un PRH de 18 horas.

21 de junio del 2012: Retiro de lodo anaerobio de los reactores R-01 y R-02, medición de la altura de lodo en los reactores. Medición de la

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

alcalinidad, sólidos suspendidos y velocidad de sedimentación. También se realizó el parámetro de la viscosidad del lodo.

24 de junio del 2012: Inicio del montaje de los reactores piloto para medición de la Actividad Metanogénica Específica del lodo (AME).

15 de julio del 2012: Culminación del montaje de reactores piloto para medición de la Actividad Metanogénica Específica del lodo (AME).

02 de agosto del 2012: Preparación de la solución de NaOH utilizado en la medición del AME.

05 de agosto del 2012: Prueba hidráulica de los reactores piloto para medición de la Actividad Metanogénica Específica del lodo (AME).

12 de agosto del 2012: Segunda Prueba hidráulica de los reactores piloto para medición de la Actividad Metanogénica Específica del lodo (AME).

20 de agosto del 2012: Se inició el monitoreo del sistema Actividad Metanogénica Específica del lodo. El sistema estuvo operativo dos semanas.

02 de setiembre del 2012: Se culminó con el monitoreo del sistema de Actividad Metanogénica Específica del lodo. Se realizó la desinstalación del sistema.

03 de noviembre del 2012: Se inició el monitoreo del sistema Actividad Metanogénica Específica del lodo. Se midió la Actividad Metanogénica Específica del lodo del R1, R2 y UASB de CITRAR-UNI. Se añadió como variable de medición del biogás a la solución NaOH en la botella por el cual circula el biogás. La prueba duro dos semanas.

17 de noviembre del 2012: Se realizó la desinstalación de los reactores piloto para medición de la Actividad Metanogénica Específica del lodo (AME).

CAPITULO VII

PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

7.1 ANÁLISIS DE PARÁMETROS VS TIEMPO

7.1.1 Parámetros físico químicos

7.1.1.1 Temperatura

La temperatura en el tratamiento de aguas residuales es un parámetro muy importante dada su influencia sobre las reacciones químicas, velocidades de reacción y actividad bacteriana.

Para la presente investigación se obtuvo la temperatura de las muestras en el momento que se realizó el muestreo. Se monitoreó la temperatura una vez al día. Usualmente a las 10 a.m. durante los meses de Abril a Diciembre del 2010 y abarca las estaciones de Otoño, Invierno y Primavera.

En la **Tabla 7.1.1** se aprecia cómo evoluciona la temperatura del afluente y efluente del sistema Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente (TSA) durante la investigación. La tabla en mención se aprecia el resumen de los valores registrados durante la investigación. Así mismo en los gráficos 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4 se observa la variación de la temperatura del agua residual y efluente de cada sistema TSA durante la investigación.

Para el procesamiento de datos se promediaron la temperatura durante una semana y se determinó la desviación estándar al 95% de confianza.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Tabla 7.1. 1: Valores Máximo, Mínimo y Promedio de Temperatura – Evaluación Sistema TSA.

Puntos de Monitoreo	Temperatura (en °C)								
	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVERA		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
CRUDO	17.00	25.50	21.33	15.50	30.00	21.48	19.80	29.00	24.64
TSA 1	17.20	25.50	21.31	15.50	25.00	19.97	20.50	29.00	24.01
TSA 2	17.40	26.00	21.43	15.20	25.00	19.82	20.00	29.00	23.88
TSA 3	17.60	28.00	22.13	15.50	28.00	20.64	20.10	29.00	24.41

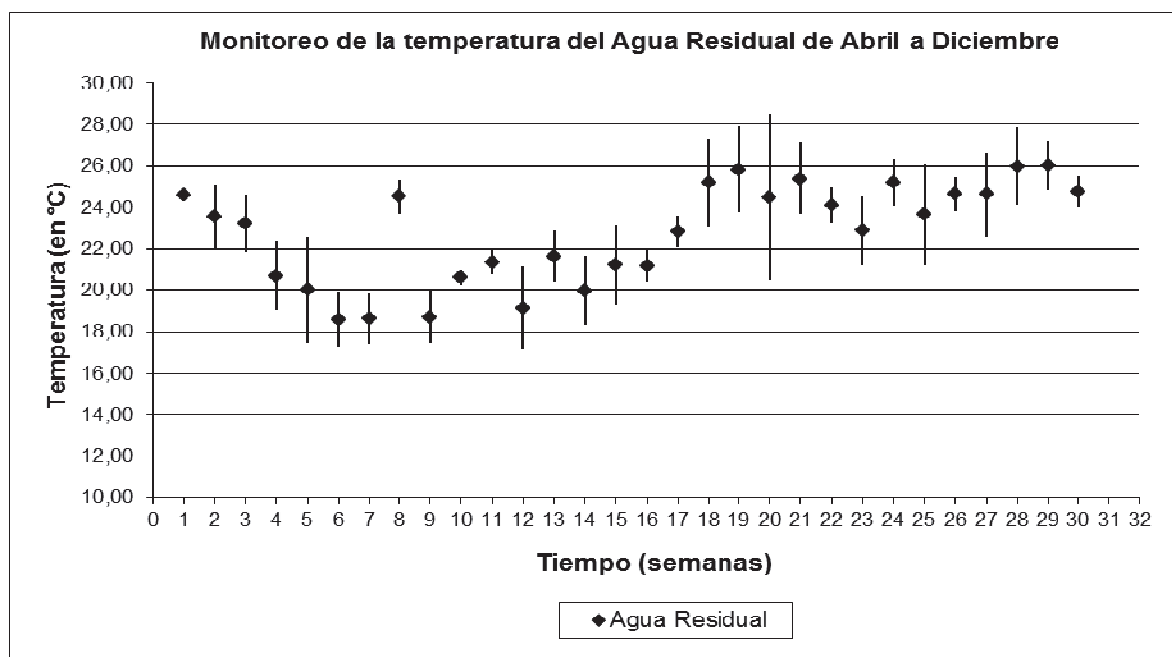


Gráfico 7. 1: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del afluente de Abril a Diciembre del 2010

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

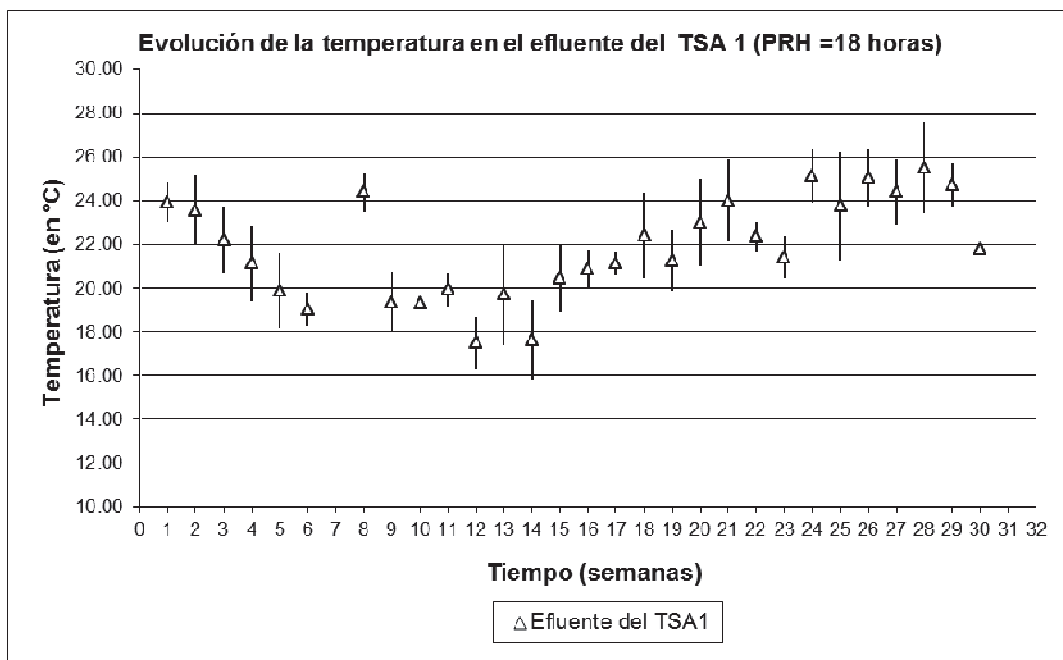


Gráfico 7. 2: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del efluente (TSA 1) de Abril a Diciembre del 2010

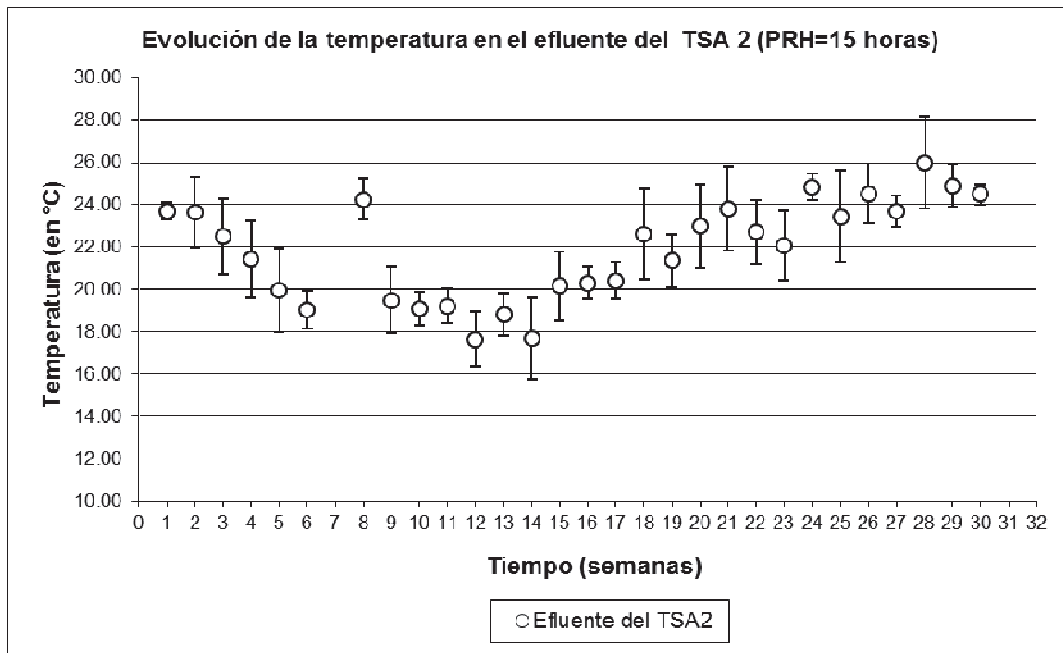


Gráfico 7. 3: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del efluente (TSA 2) de Abril a Diciembre del 2010

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

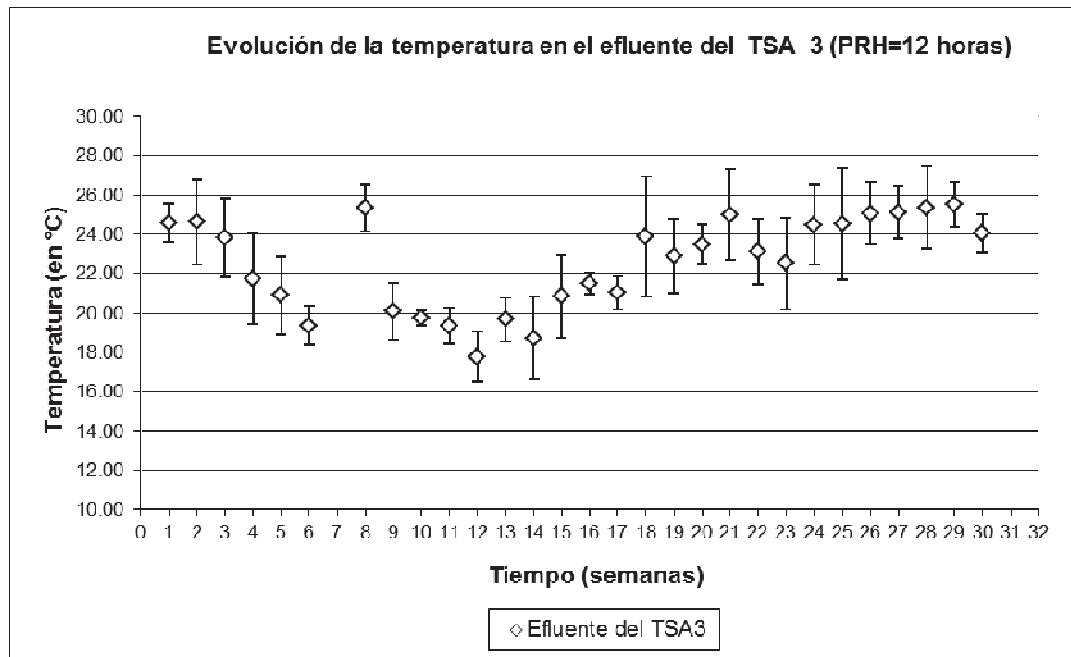


Gráfico 7. 4: Valores promedio y desviación estándar de la temperatura del efluente (TSA 3) de Abril a Diciembre del 2010

El gráfico 7.1 y la Tabla 7.1.1 muestra la temperatura del desagüe crudo registrada tuvo como valor mínimo a 15.5°C y como valor máximo 30°C registrándose en Invierno la mayor variación de temperatura de alrededor de 14.5°C.

Los gráficos 7.2, 7.3 y 7.4 muestran la evolución de la temperatura del efluente de los TSA1, TSA2 y TSA3, encontrándose que el comportamiento de los 3 sistemas TSA es semejante.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.1.1.2 pH

Tabla 7.1. 2: Valores Máximo, Mínimo y Promedio de pH – Evaluación Sistema TSA.

Puntos de Monitoreo	pH								
	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVERA		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
CRUDO	6.50	7.56	6.96	6.50	7.10	6.87	6.50	7.21	6.81
TSA 1	7.00	7.62	7.19	6.50	7.50	6.99	6.80	7.57	6.94
TSA 2	7.00	7.62	7.19	6.50	7.50	7.01	6.60	7.25	6.93
TSA 3	7.00	7.59	7.12	6.50	7.20	6.95	6.80	7.45	6.91

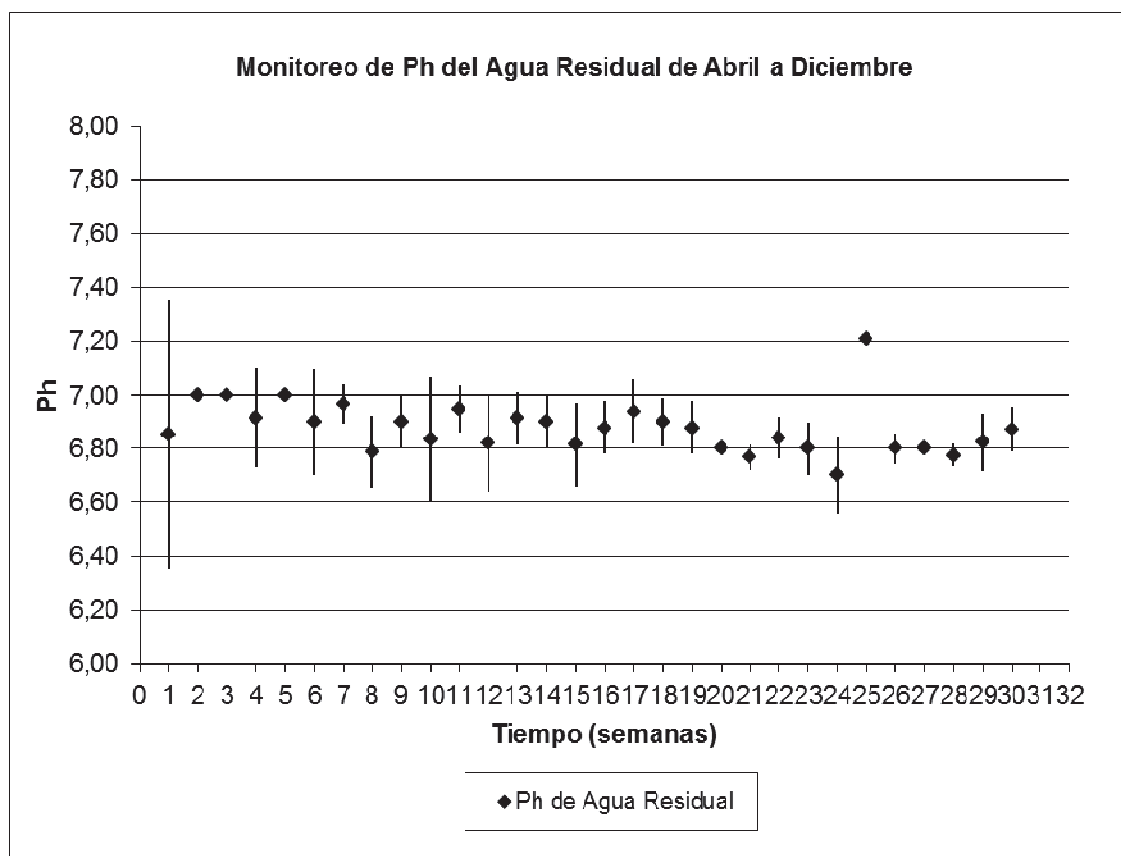


Gráfico 7. 5: Valores promedio y desviación estándar del pH del afluente de Abril a Diciembre del 2010

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

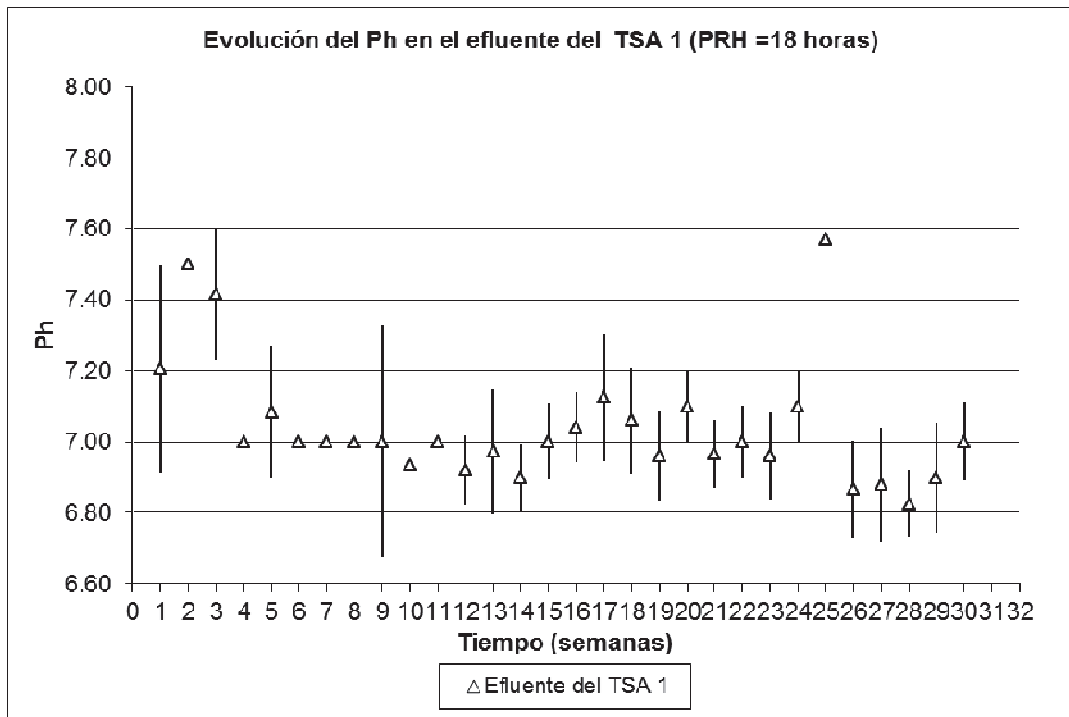


Gráfico 7. 6: Valores promedio y desviación estándar del pH del efluente (TSA 1) de Abril a Diciembre del 2010

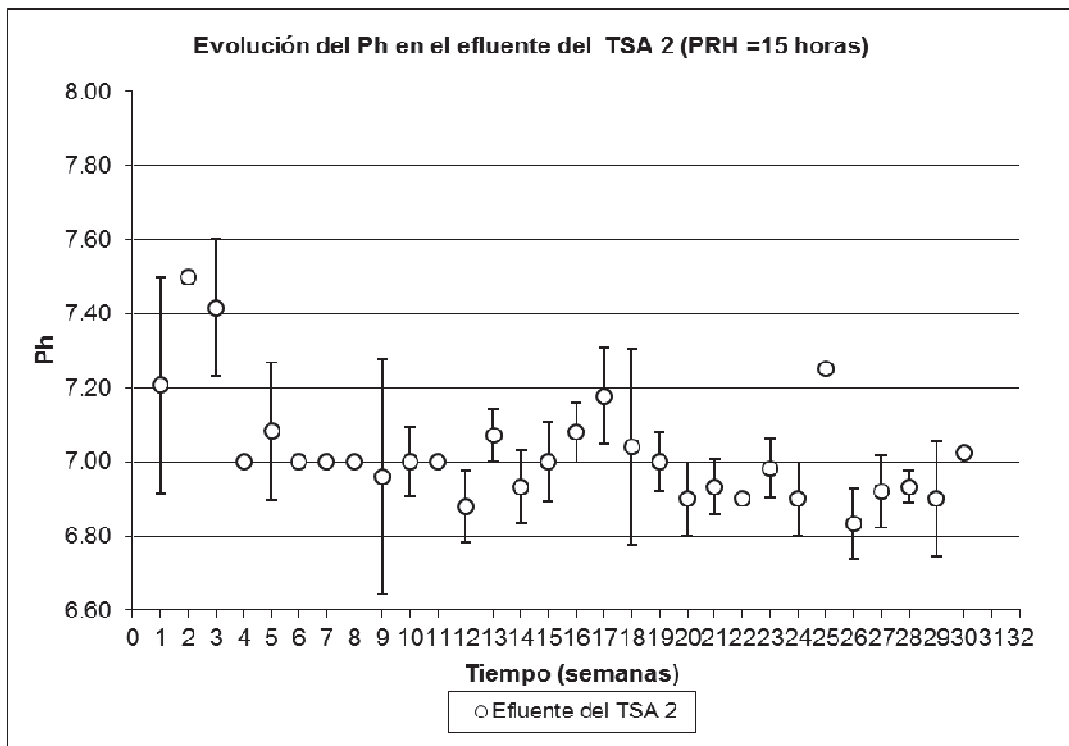


Gráfico 7. 7: Valores promedio y desviación estándar del pH del efluente (TSA 2) de Abril a Diciembre del 2010

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

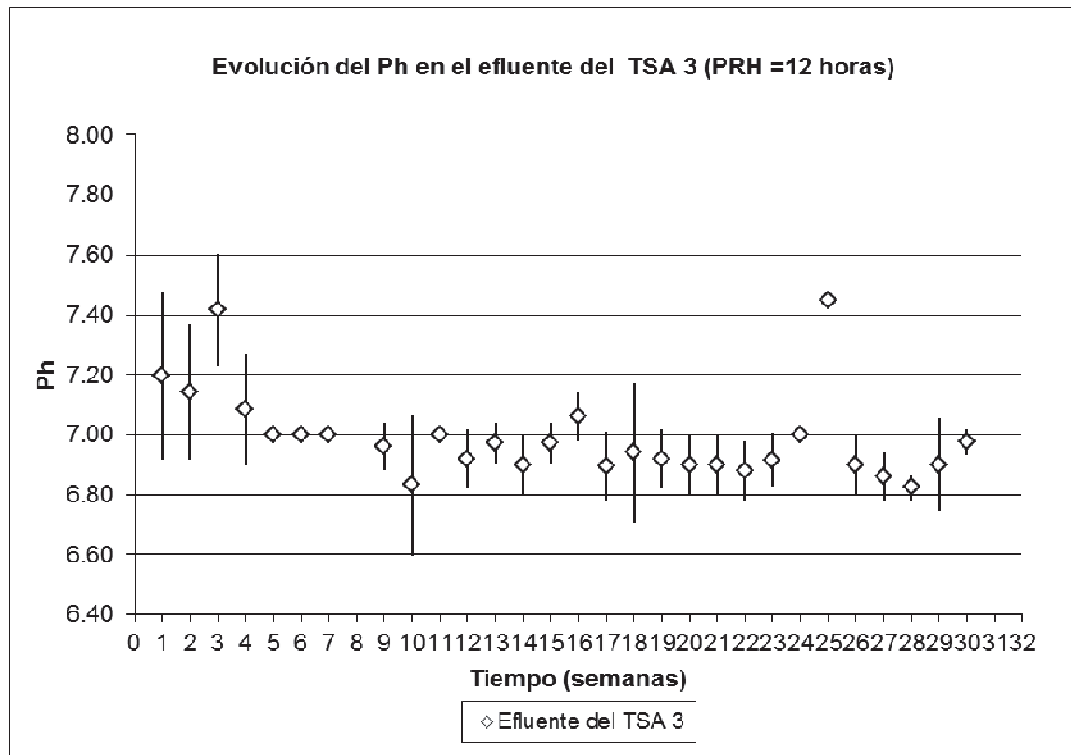


Gráfico 7. 8: Valores promedio y desviación estándar del pH del efluente (TSA 3) de Abril a Diciembre del 2010

El gráfico 7.5 y la Tabla 7.1.2 muestra el pH del agua residual registrada tuvo como valor mínimo a 6.5 y como valor máximo 7.62 registrándose en Invierno la mayor variación de pH de alrededor de 1 OH⁻.

Los gráficos 7.6, 7.7 y 7.8 muestran la evolución del pH del efluente de los TSA1, TSA2 y TSA3, encontrándose que el comportamiento de los 3 sistemas TSA es semejante.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.1.1.3 Turbiedad

La medición de la turbiedad se realizó al momento de sacar muestras de los TSA. En algunos casos los grifos para extraer muestras se encontraban obstruidos que era ocasionado por la acumulación de carbonatos.

De los resultados obtenidos de los TSA1, TSA2 y TSA3 (ver Tablas 7.1.3 y 7.1.4) no podemos concluir que sistemas TSA remueve mayor cantidad de turbiedad.

Tabla 7.1. 3: Valores de Turbiedad – Evaluación Sistema TSA.

Puntos de Monitoreo	Turbiedad (en UNT)													
	OTOÑO						INVIERNO						PRIMAVERA	
	12/07/2010	14/07/2010	15/07/2010	26/07/2010	27/07/2010	02/08/2010	05/08/2010	06/08/2010	11/08/2010	12/11/2010	17/11/2010	26/11/2010		
CRUDO	310.00	333.00	376.00	464.00	322.00	374.00	429.00	336.00	400.00	674.00	717.00	536.00		
TSA 1	191.00	135.00	166.00	408.00	199.00	192.00	232.00	272.00	182.00	81.00	63.00	155.00		
TSA 2	261.00	156.00	241.00	428.00	207.00	162.00	207.00	189.00	214.00	61.00	126.00	196.00		
TSA 3	267.00	131.00	266.00	360.00	190.00	208.00	211.00	220.00	195.00	150.00	147.00	203.00		

La turbiedad presente en el desagüe crudo tiene un valor mínimo de 310 UNT y máximo de 717 UNT. Se observa que la turbiedad aumenta progresivamente durante la investigación.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Tabla 7.1. 4: Valores Máximo, Mínimo y Promedio de Turbiedad – Evaluación Sistema TSA.

Puntos de Monitoreo	Turbiedad (en UNT)											
	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVERA					
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio			
CRUDO	310.00	376.00	339.67	322.00	464.00	387.50	536.00	717.00	642.33			
TSA 1	135.00	191.00	164.00	182.00	408.00	247.50	63.00	155.00	99.67			
TSA 2	156.00	261.00	219.33	162.00	428.00	234.50	61.00	196.00	127.67			
TSA 3	131.00	267.00	221.33	190.00	360.00	230.67	147.00	203.00	166.67			

7.1.1.4.Sólidos Totales

Tabla 7.1. 5 Valores de Sólidos Totales – Evaluación Sistema TSA.

Punto de Monitoreo	Sólidos Totales (en mg/L)											
	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVERA					
06/05/2010	12/05/2010	14/05/2010	23/08/2010	02/09/2010	06/09/2010	15/09/2010	22/09/2010	05/10/2010	15/10/2010			
22 (*)	28 (*)	30 (*)	56	66	70	79	86	99	109			
1290	924	1770	1800	1200	1195	1600	2472	1372	1524			
TSA 1	1470	876	1105	1270	1110	1110	1256	1024				
TSA 2	1325	864	1230	1625	990	1252	1260		1204			
TSA 3	1465	864	1155	1400	1245	1356						

Nota: (*) Corresponde al periodo de arranque del TSA.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

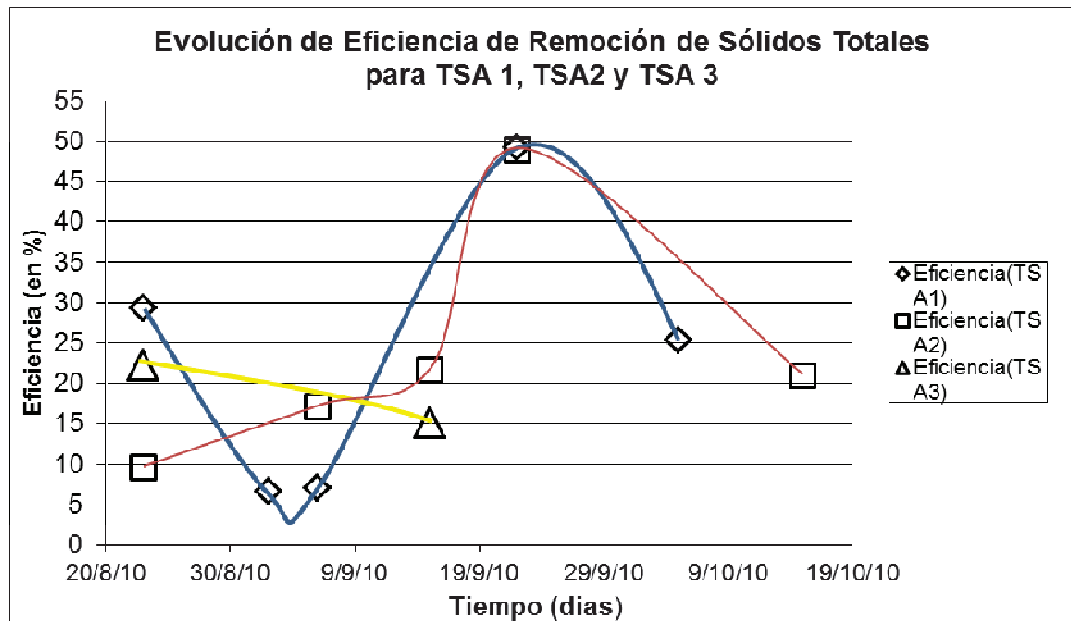


Gráfico 7. 9: Evolución de la eficiencia de remoción de sólidos totales para TSA1, TSA2 y TSA3.

La cantidad de sólidos totales presentes en el desagüe crudo durante la investigación varía de 924 mg/L a 2472 mg/L.

Respecto a la eficiencia de remoción de Sólidos Totales El TSA1 (TRH=18 horas) alcanzó una eficiencia mínima de 5.19 % y máxima de 49.20%. El TSA2 (TRH=15 horas) alcanzó una eficiencia mínima de 6.49 % y máxima de 49.02%. El TSA3 (TRH=12 horas) alcanzó una eficiencia mínima de 6.49 % y máxima de 34.75%.

En la gráfica 7.9 se aprecia que no hay una tendencia respecto a la eficiencia de remoción de sólidos totales. No se puede indicar que sistema TSA es más eficiente en remoción de sólidos.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.1.1.5 Sólidos Volátiles

Tabla 7.1. 6: Valores de Sólidos Volátiles – Evaluación Sistema TSA.

Punto de Monitoreo	Sólidos Volátiles (en mg/L)											
	OTOÑO			INVIERNO						PRIMAVERA		
	06/05/2010	12/05/2010	14/05/2010	23/08/2010	02/09/2010	06/09/2010	15/09/2010	22/09/2010	05/10/2010	15/10/2010		
	22 (*)	28 (*)	30 (*)	56	66	70	79	86	99	109		
CRUDO	540	508	565	750	395	400	812	1048	464	664		
TSA 1	580	260	425	595	385	280		128	296			
TSA 2	530	376	555	1205		180	548	160		388		
TSA 3	515	348	470	595		350	544					

Nota: (*) Corresponde al periodo de arranque del TSA.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

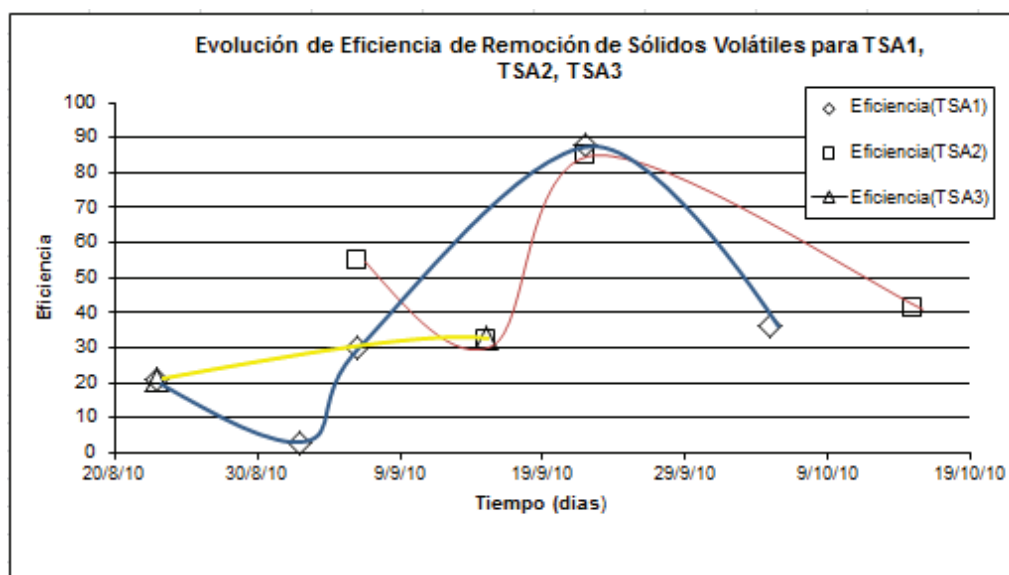


Gráfico 7. 10: Evolución de la eficiencia de remoción de sólidos volátiles para TSA1, TSA2 y TSA3.

La cantidad de sólidos volátiles presentes en el desagüe crudo durante la investigación varía de 395 mg/L a 1048 mg/L.

Respecto a la eficiencia de remoción de Sólidos Volátiles El TSA1 (TRH=18 horas) alcanzó una eficiencia mínima de 2.53 % y máxima de 87.78%. El TSA2 (TRH=15 horas) alcanzó una eficiencia mínima de 32.51 % y máxima de 84.73%. El TSA3 (TRH=12 horas) alcanzó una eficiencia mínima de 20.67 % y máxima de 33.00%.

En la gráfica 7.10 se aprecia que no hay una tendencia respecto a la eficiencia de remoción de sólidos volátiles. No se puede indicar que sistema TSA es más eficiente en remoción de sólidos volátiles.

7.1.1.6 Sólidos Suspendidos Totales

Tabla 7.1. 7: Valores de Sólidos Suspendidos Totales – Evaluación Sistema TSA.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Punto de Monitoreo	Sólidos Suspendedos (en mg/L)						
	INVIERNO					PRIMAVERA	
	23/08/2010	02/09/2010	06/09/2010	15/09/2010	22/09/2010	05/10/2010	15/10/2010
	56	66	70	79	86	99	109
CRUDO	405	30	55	60	1272	360	264
TSA 1	50	210	130	-	1256	8	-
TSA 2	380	-	60	8	4	-	52
TSA 3	670	-	65	52	-	-	-

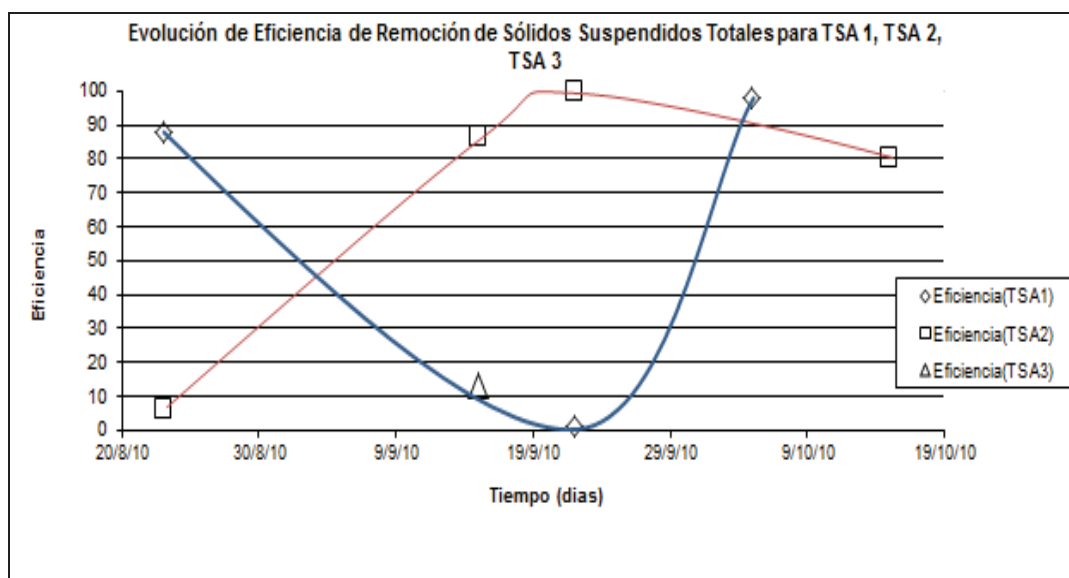


Gráfico 7. 11: Evolución de la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales para TSA1, TSA2 y TSA3.

La cantidad de sólidos suspendidos presentes en el desagüe crudo durante la investigación varía de 30 mg/L a 1272 mg/L.

Respecto a la eficiencia de remoción de Sólidos Suspendedos El TSA1 (TRH=18 horas) alcanzó una eficiencia mínima de 1.25 % y máxima de 97.77%. El TSA2 (TRH=15 horas) alcanzó una eficiencia de 6.17 % y máxima de 99.68%. El TSA3 (TRH=12 horas) alcanzó una eficiencia de 13.33%.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

En la gráfica 7.11 se aprecia que no hay una tendencia respecto a la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales. No se puede indicar que sistema TSA es más eficiente en remoción de sólidos suspendidos totales.

7.1.1.7 Sólidos sedimentables

Tabla 7.1. 8: Valores de Sólidos Sedimentables – Evaluación Sistema TSA.

Puntos de Monitoreo	Sólidos Sedimentables (en mil/L/hora)
CRUDO	6.50 *
TSA 1	0.40
TSA 2	0.20
TSA 3	0.40

Nota: (*) El muestreo del desagüe crudo se realizó en el tanque de almacenamiento.

El monitoreo se realizó el 11 de Noviembre del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.1.2 Parámetros Biológicos

7.1.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Tabla 7.1. 9: Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.

Punto de Monitoreo	Demanda Bioquímica de Oxígeno (en mg/L)																	
	INVIERNO									PRIMAVERA								
	14/07/2010	15/07/2010	05/08/2010	06/08/2010	19/08/2010	20/08/2010	02/08/2010	07/10/2010	15/09/2010	10/09/2010	07/10/2010	15/10/2010	08/10/2010	15/10/2010	20/10/2010	02/11/2010	24/11/2010	
CRUDO	17 días	344.24	222.25	363.27	363.31	655.05	399.63	53 días	74 días	489.65	381.12	572.92	101 días	102 días	329.22	412.08	339.63	453.45
TSA 1	111.15	142.35	315.03	223.26	220.97	194.34	196.68	193.27	212.60	218.90	214.58	213.21	177.78	174.10	74.82	85.47	134.29	190.28
TSA 2	108.15	152.55	331.50	250.85	222.45	253.99	157.49	198.27	291.39	217.55	217.55	198.27	290.27	282.68	233.94	183.38	26.2	24.5
TSA 3	138.13	162.12	337.19	259.89	19.9	18.4	22	23	26	21.5	21.5	25.9	24.5	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
Temperatura (en °C)	22	21	19.9	18.4	19.9	22	23	26	21.5	21.5	25.9	24.5	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2

Tabla 7.1. 10: Eficiencias de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.

Punto de Monitoreo	Eficiencia encontrada en los TSAs mediante Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) durante la investigación (en %)																	
	INVIERNO									PRIMAVERA								
	14/07/2010	15/07/2010	05/08/2010	06/08/2010	19/08/2010	20/08/2010	02/08/2010	07/10/2010	15/09/2010	10/09/2010	07/10/2010	15/10/2010	08/10/2010	15/10/2010	20/10/2010	02/11/2010	24/11/2010	
TSA 1	67.71	35.95	13.28	38.55	66.27	51.37	59.83	49.29	62.89	33.51	47.93	60.46	81.15	55.40	83.50	59.19	57.02	57.02
TSA 2	68.58	31.36	8.75	30.95	66.04	48.13	58.68	45.03	46.00	46.29	31.40	31.12	24.5	24.5	26.2	26.2	26.2	26.2
TSA 3	59.87	27.06	7.18	60.33	45.56	40.49	47.98	49.34	46.29	31.40	31.12	24.5	24.5	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
Temperatura (en °C)	22	21	19.9	18.4	19.9	22	23	26	21.5	21.5	25.9	24.5	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2

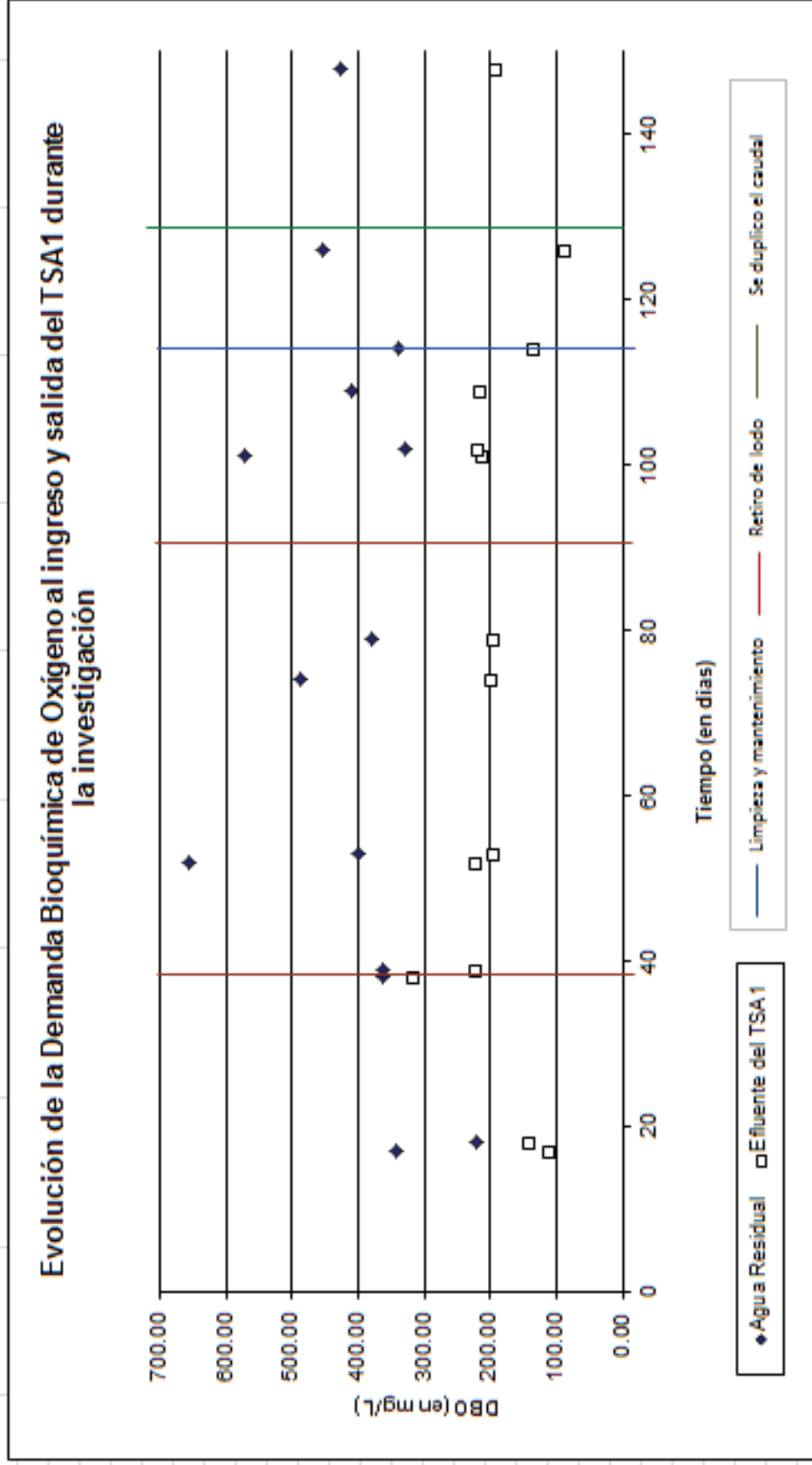


Gráfico 7. 12: Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno al ingreso y salida del TSA1 durante la investigación.

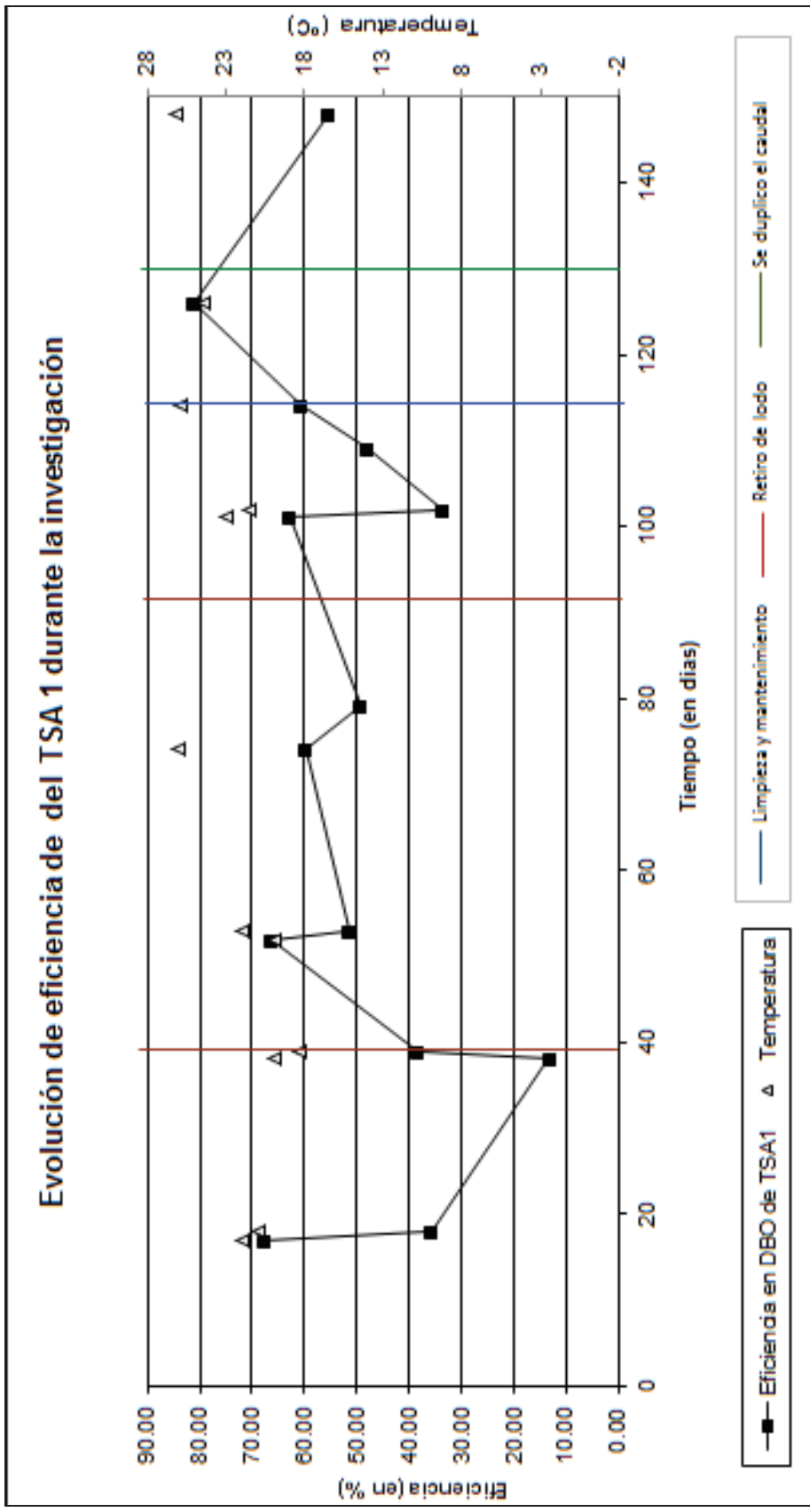


Gráfico 7. 13: Evolución de la Eficiencia de remoción de DBO del TSA1 durante la investigación.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

En el gráfico 7.12 y 7.13 se observa líneas verticales, las cuales indican eventos importantes durante el desarrollo de la tesis.

La línea marrón indica el retiro de lodo proveniente de los TSA1, TSA2 y TSA3. El retiro de lodo se realizó en 2 oportunidades. El retiro de lodo fue el 03 de agosto del 2010 (1er evento) y el 28 de setiembre del 2010 (2do evento), ambas oportunidades se realizó para caracterizar el lodo y realizar la prueba AME. La línea azul indica el mantenimiento general (3er evento) que se realizó a los sistemas TSA. La línea verde indica el momento donde se duplico el caudal (4to evento) para evaluar el comportamiento de los Sistemas TSA.

Del gráfico 7.12 del inicio de la evaluación del TSA 1 al 1er evento, se observa que la eficiencia de remoción de DBO del TSA 1 decrece hasta alcanzar menor de valor de 13.28% el 05 de agosto del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 24 de julio del 2010 sucedió una contaminación en los sistemas TSA. Este suceso pudo provocar esta disminución de la eficiencia. Luego del retiro de lodos la eficiencia aumento a 38.55%.

Del 1er al 2do evento se observa que aumenta la eficiencia de remoción de DBO y esta se mantiene entre 49.29 a 66.27%.

Del 2do al 3er evento se observa que después de retirar lodos del TSA1 la eficiencia aumenta a 62.89 %. Luego la eficiencia disminuye alcanzando su valor más bajo de 33.51% el 08 de octubre del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 07 de octubre del 2010 los Sistemas TSA sufren problemas de alimentación debido a atoros provocando que la pH disminuya (ver Gráfico 7.5). Después la eficiencia aumenta progresivamente.

Del 3er al 4to evento se observa que la eficiencia va en aumento alcanzando 81.15%.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Del 4to evento al fin del estudio la eficiencia disminuye alcanzando 55.40%.

El primer retiro de lodo del TSA1 provoco que la eficiencia aumente con una misma carga orgánica de ingreso del crudo.

Al incrementar la DBO de crudo de 363.31 a 655.05 provoca que la eficiencia disminuya de 66.27 a 51.37 %

El efluente del TSA1 tiene un valor de 142.35 mg/l antes que se contamine el TSA. Luego del primer retiro de lodo este valor se conserva alrededor de 223.92 mg/l. Después del mantenimiento del sistema el efluente es 134.29 mg/l. cuando se duplico el caudal de ingreso el efluente del TSA1 es de 190.28 mg/l.

El TSA1 soporta cambios de carga orgánica sin variar considerablemente la calidad de su efluente.

En casos se produzca una contaminación del reactor, esta compromete la calidad del efluente.

Un retiro de lodo y un mantenimiento adecuado del TSA1 ayuda a mejorar la eficiencia del tratamiento.

La temperatura dentro del TSA1 se mantiene cercano a 20°C durante todo el estudio.

Problemas de continuidad de alimentación de caudal debido a atoros del TSA1 provoca que la eficiencia de remoción de carga orgánica disminuya.

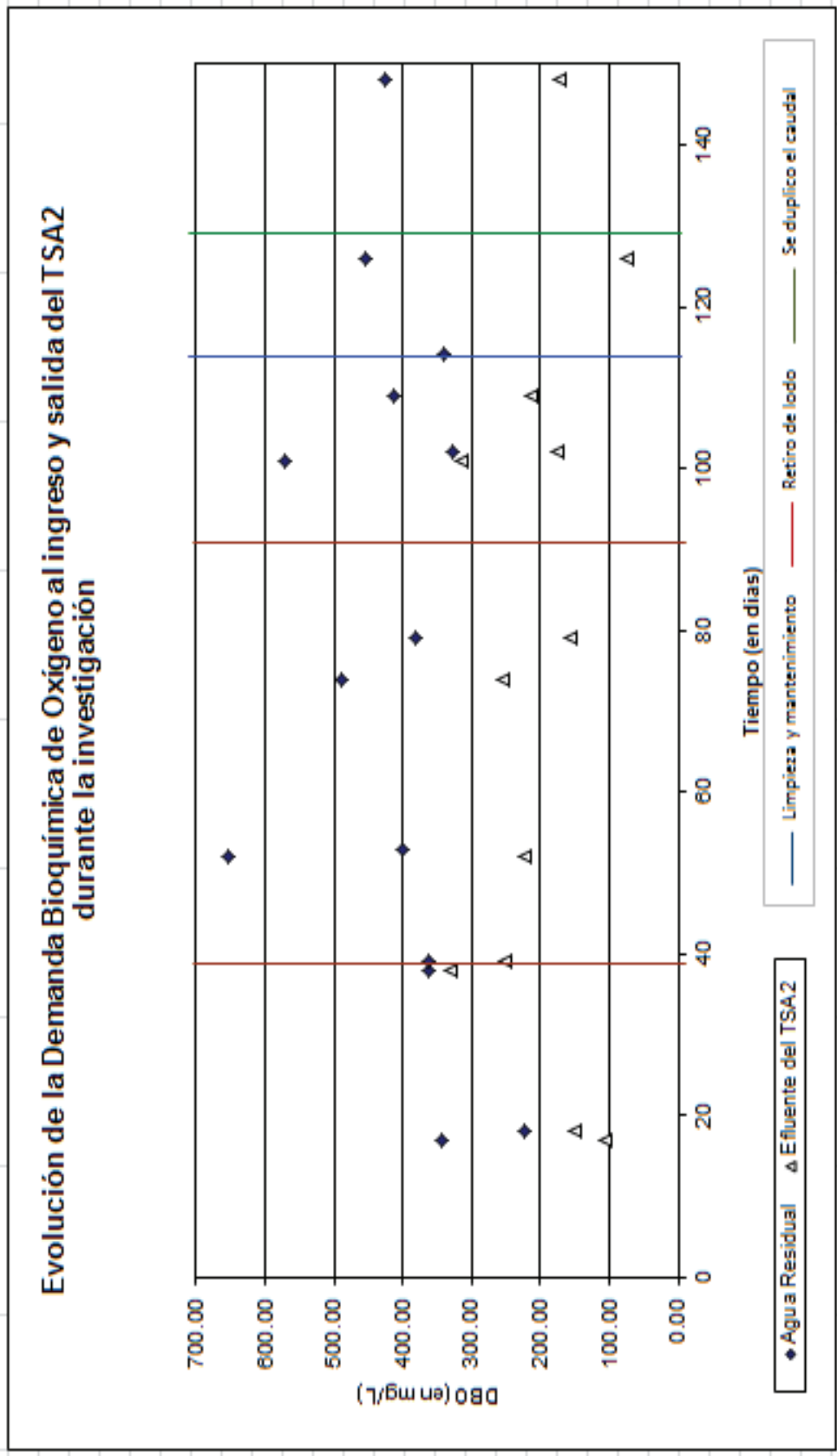


Gráfico 7. 14: Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno al ingreso y salida del TSA2 durante la investigación.

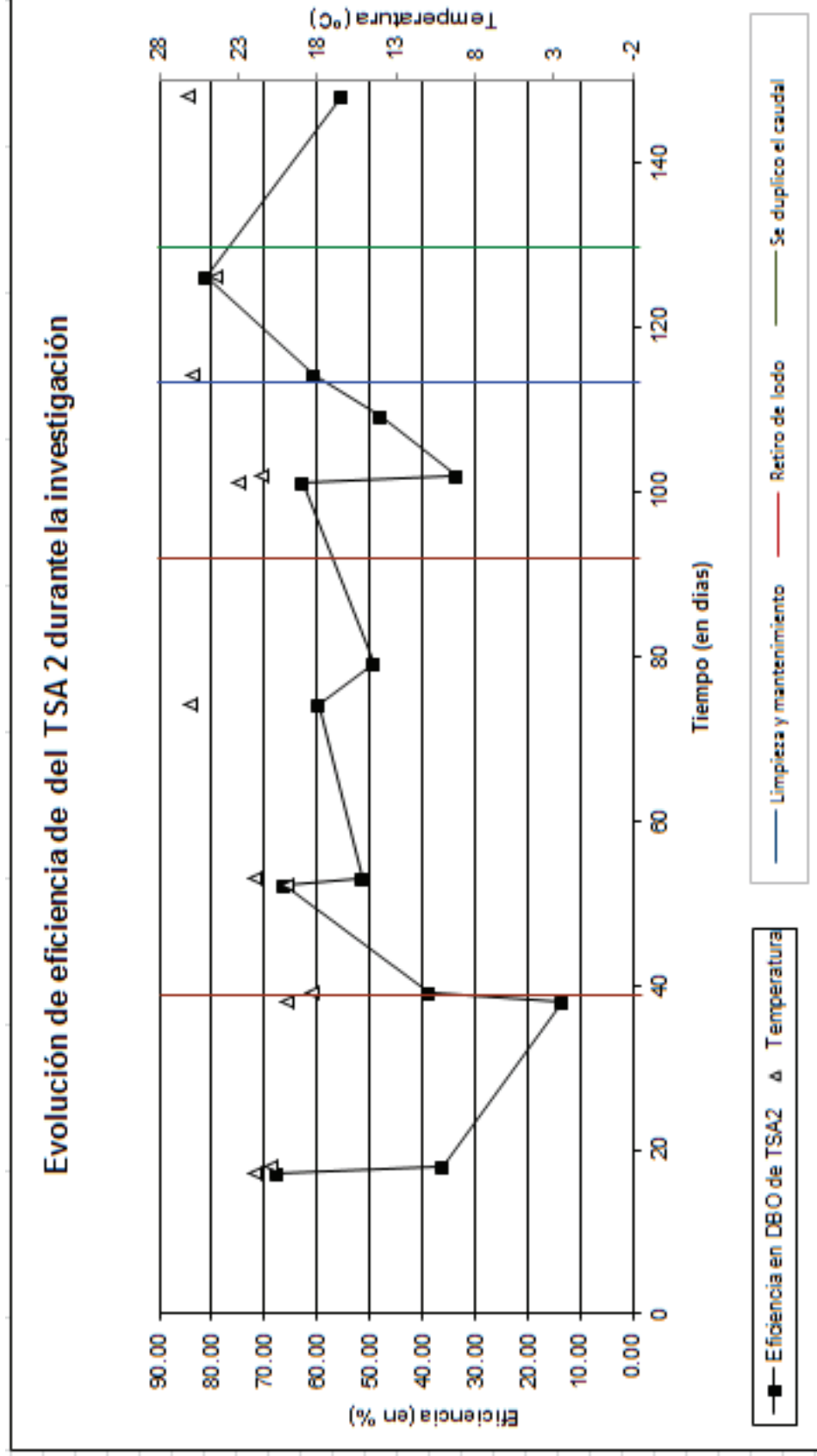


Gráfico 7. 15: Evolución de la Eficiencia de remoción de DBO del TSA2 durante la investigación.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

El gráfico 7.15 del inicio del estudio del TSA 2 al 1er evento, se observa que la eficiencia de remoción de DBO del TSA 2 decrece hasta alcanzar menor de valor de 8.75% el 05 de agosto del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 24 de julio del 2010 sucedió una contaminación en los sistemas TSA. Este suceso pudo provocar esta disminución de la eficiencia. Luego del retiro de lodos la eficiencia aumento a 30.95%.

Del 1er al 2do evento se observa que aumenta la eficiencia de remoción de DBO y esta se mantiene entre 48.13 a 66.04%.

Del 2do al 3er evento se observa que después de retirar lodos del TSA2 la eficiencia disminuye a 45.03 %. Luego la eficiencia se aumenta lentamente alcanzando 48.26% El 08 de octubre del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 07 de octubre del 2010 los Sistemas TSA sufren problemas de alimentación debido a atoros provocando que la pH disminuya (ver Gráfico 7.5). Después la eficiencia aumenta progresivamente.

Del 3er al 4to evento se observa una eficiencia de remoción de DBO de 83.50%.

Del 4to evento al fin del estudio la eficiencia disminuye alcanzando 59.19%.

El primer retiro de lodo del TSA2 provoco que la eficiencia aumente con una misma carga orgánica de ingreso del crudo.

Al disminuir la DBO de crudo de 489.65 a 381.12 provoca que la eficiencia disminuya de 58.68 a 48.13%.

El efluente del TSA2 tiene un valor de 152.55 mg/l antes que se contamine el reactor. Luego del primer retiro de lodo este valor se

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

conserva alrededor de 200 mg/l. no se tiene valor después del mantenimiento. Cuando se duplico el caudal de ingreso el efluente del TSA2 es de 174.10 mg/l.

El TSA2 cuando sufre cambios de carga orgánica varía la calidad de su efluente.

En casos se produzca una contaminación del reactor, esta compromete la calidad del efluente.

Un mantenimiento adecuado del TSA2 ayuda a mejorar la eficiencia del tratamiento.

Problemas de continuidad de alimentación de caudal debido a atoros del TSA2 provoca que la eficiencia de remoción de carga orgánica disminuya.

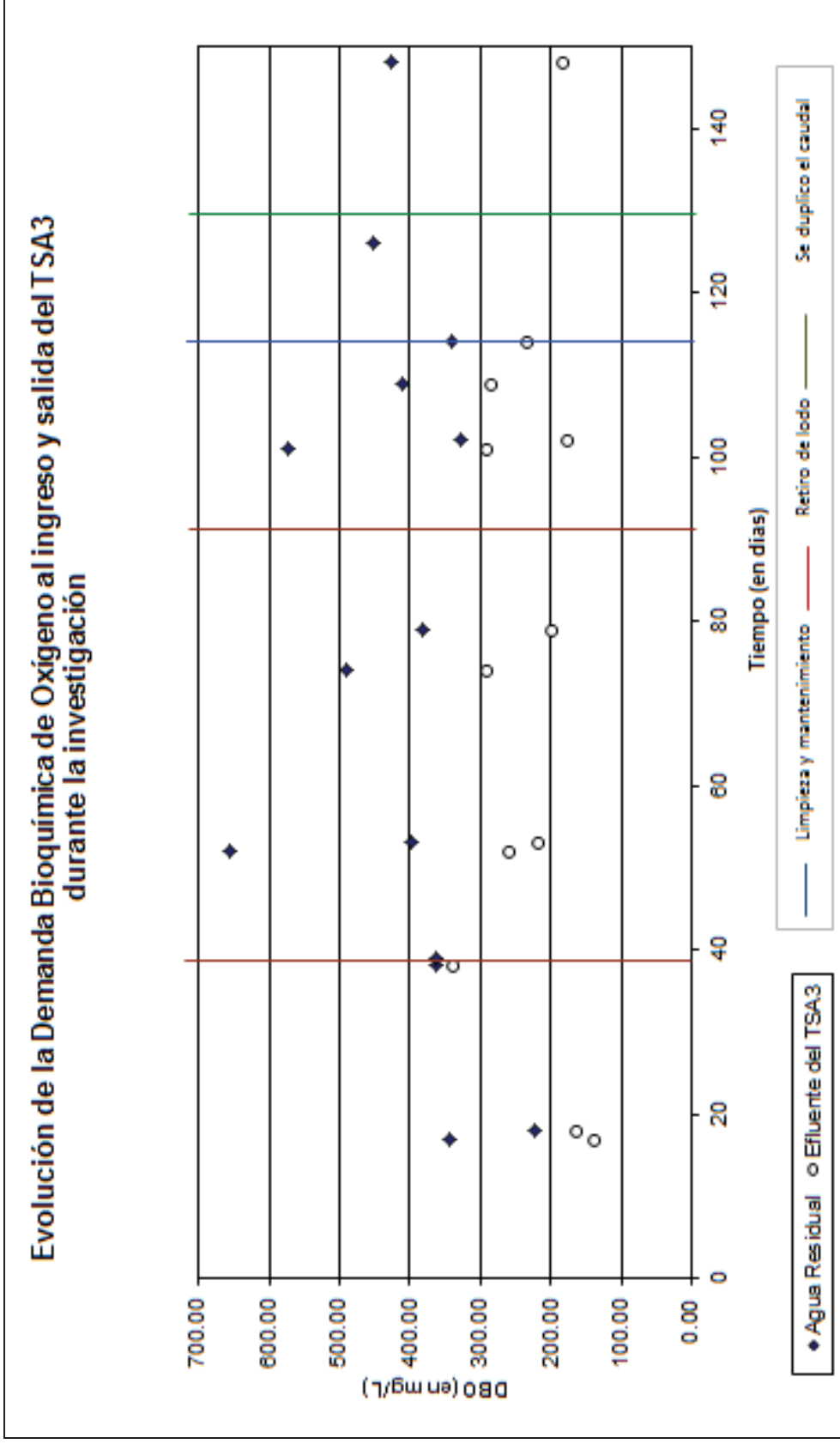


Gráfico 7. 16: Evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno al ingreso y salida del TSA3 durante la investigación.

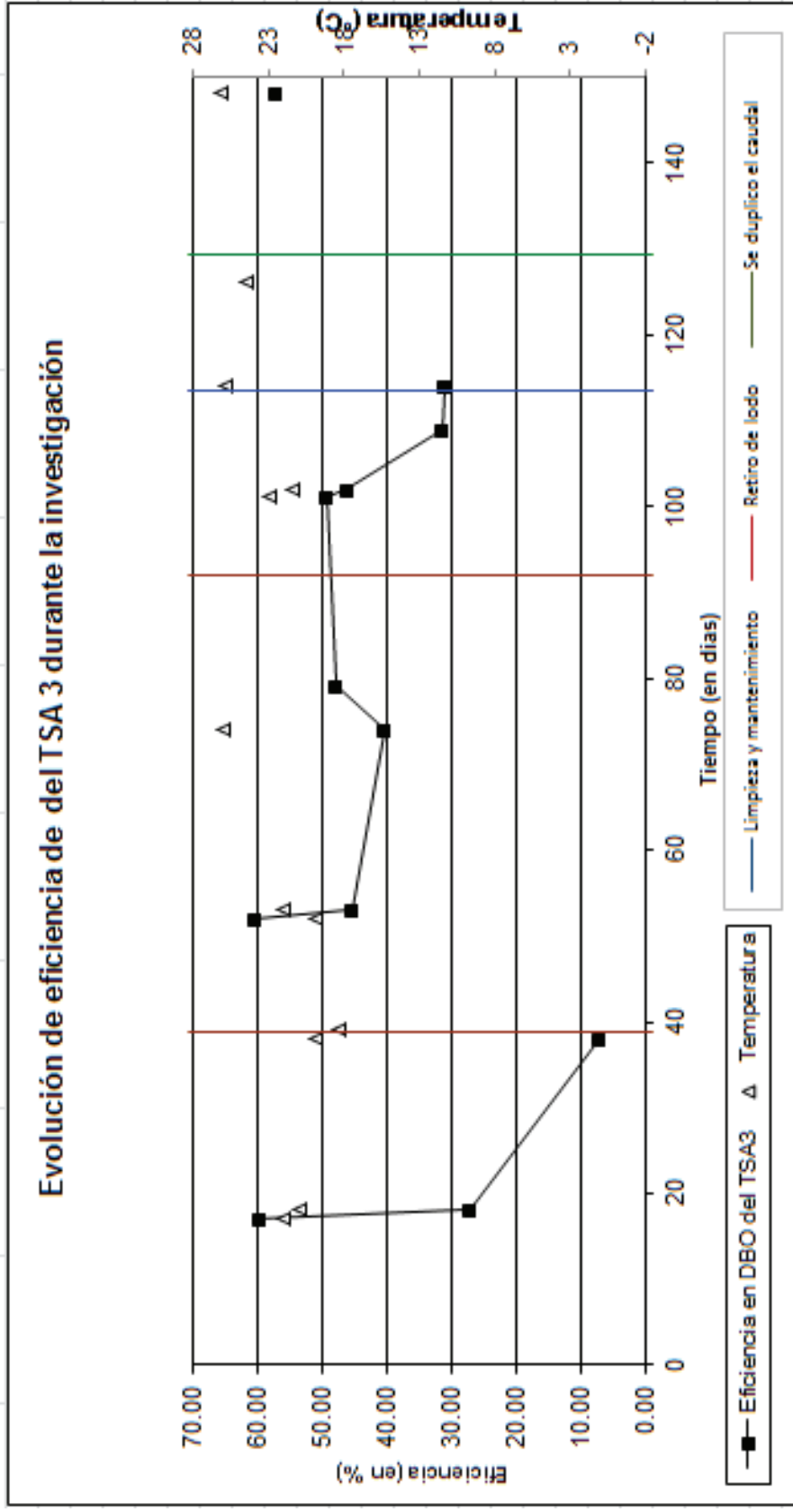


Gráfico 7. 17: Evolución de la Eficiencia de remoción de DBO del TSA3 durante la investigación

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Del gráfico 7.17 del inicio de la evaluación del TSA 3 al 1er evento, se observa que la eficiencia de remoción de DBO del TSA 3 decrece hasta alcanzar menor de valor de 7.8% el 05 de agosto del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 24 de julio del 2010 sucedió una contaminación en los sistemas TSA. Este suceso pudo provocar esta disminución de la eficiencia. Luego del retiro de lodos la eficiencia aumento a 38.55%.

Del 1er al 2do evento se observa que aumenta la eficiencia de remoción de DBO y esta se mantiene entre 40.49 a 60.33%.

Del 2do al 3er evento se observa que después de retirar lodos del TSA3 la eficiencia aumenta a 49.34 %. Luego la eficiencia disminuye progresivamente alcanzando su valor más bajo de 31.12% el 08 de octubre del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 07 de octubre del 2010 los Sistemas TSA sufren problemas de alimentación debido a atoros provocando que el pH disminuya (ver Gráfico 7.5).

Del 3er al 4to evento no se tiene ningún valor.

Del 4to evento al fin del estudio se tiene un único valor de eficiencia el cual es de 57.02%.

Al disminuir la DBO de crudo de 655.05 a 399.63 provoca que la eficiencia disminuya de 60.33 a 45.56 %.

Al incrementar la DBO de crudo de 489.65 a 381.12 provoca que la eficiencia aumente de 40.49 a 47.98 %

El efluente del TSA3 tiene un valor de 138.13 mg/l antes que se contamine el reactor. Luego del primer retiro de lodo este valor se

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

conserva alrededor de 259.89 mg/l. Cuando se duplico el caudal de ingreso el efluente del TSA1 es de 183.38 mg/l.

El TSA3 cuando sufre cambios de carga orgánica varía la calidad de su efluente.

En casos se produzca una contaminación del reactor, esta compromete seriamente la calidad del efluente.

Un retiro de lodo y un mantenimiento adecuado del TSA3 ayuda a mejorar la eficiencia del tratamiento.

Problemas de continuidad de alimentación de caudal debido a atoros del TSA3 provoca que la eficiencia de remoción de carga orgánica disminuya.

De todos los Sistemas TSA es el TSA3 logra la menor eficiencia en idénticas condiciones.

Después de retirar lodo del TSA3 la eficiencia mejora pero esta va disminuyendo con el pasar del tiempo.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.1.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 7.1. 11: Valores de Demanda Química de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.

Punto de Monitoreo	Demanda Química de Oxígeno (en mg/L)													
	INVIERNO							PRIMAVERA						
	14/07/2010 17 días	27/07/2010 30 días	02/08/2010 35 días	05/08/2010 38 días	11/08/2010 44 días	19/08/2010 52 días	26/08/2010 59 días	10/09/2010 74 días	21/09/2010 85 días	29/10/2010 123 días	03/11/2010 127 días	26/11/2010 150 días		
CRUDO	614	802	820	540	817	979	868	1118	1007	1191	1150	957		
TSA 1	348	640	678	390	448	427	503	672	494	526	492	350		
TSA 2	352	569	569	370	489	425	552	729	508	555	545	432		
TSA 3	376	670	510	380	495	497	634	707	521	570	548	436		
Temperatura (en °C)	22	19.2	19.8	19.9	19.6	20	22	26	20.5	23.5	27	24		

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Tabla 7.1. 12: Eficiencias de remoción de Demanda Química de Oxígeno – Evaluación Sistema TSA.

Punto de Monitoreo	Demanda Química de Oxígeno (en mg/L)													
	INVIERNO											PRIMAVERA		
	14/07/2010	27/07/2010	02/08/2010	05/08/2010	11/08/2010	19/08/2010	26/08/2010	10/09/2010	21/09/2010	29/10/2010	03/11/2010	26/11/2010		
	17 días	30 días	35 días	38 días	44 días	52 días	59 días	74 días	85 días	123 días	127 días	150 días		
TSA 1	43.32	20.20	17.32	27.78	45.17	56.38	42.05	39.89	50.94	55.84	57.22	63.43		
TSA 2	42.67	29.05	30.61	31.48	40.15	56.59	36.41	34.79	49.55	53.40	52.61	54.86		
TSA 3	38.76	16.46	37.80	29.63	39.41	49.23	26.96	36.76	48.26	52.14	52.35	54.44		
Temperatura (en °C)	22	19.2	19.8	19.9	19.6	20	22	26	20.5	23.5	27	24		

Estas líneas de color indican eventos importantes durante el desarrollo de la tesis.

La línea marrón indica el retiro de lodo proveniente de los TSA1, TSA2 y TSA3. El retiro de lodo se realizó en 2 oportunidades. El retiro de lodo fue el 03 de agosto del 2010 (1er evento) y el 21 de octubre del 2010 (2do evento), ambas oportunidades se realizó para caracterizar el lodo y realizar la prueba AME.

La línea azul indica el mantenimiento general (3er evento) que se realizó a los sistemas TSA.

La línea verde indica el momento donde se duplico el caudal (4to evento) para evaluar el comportamiento de los Sistemas TSA.

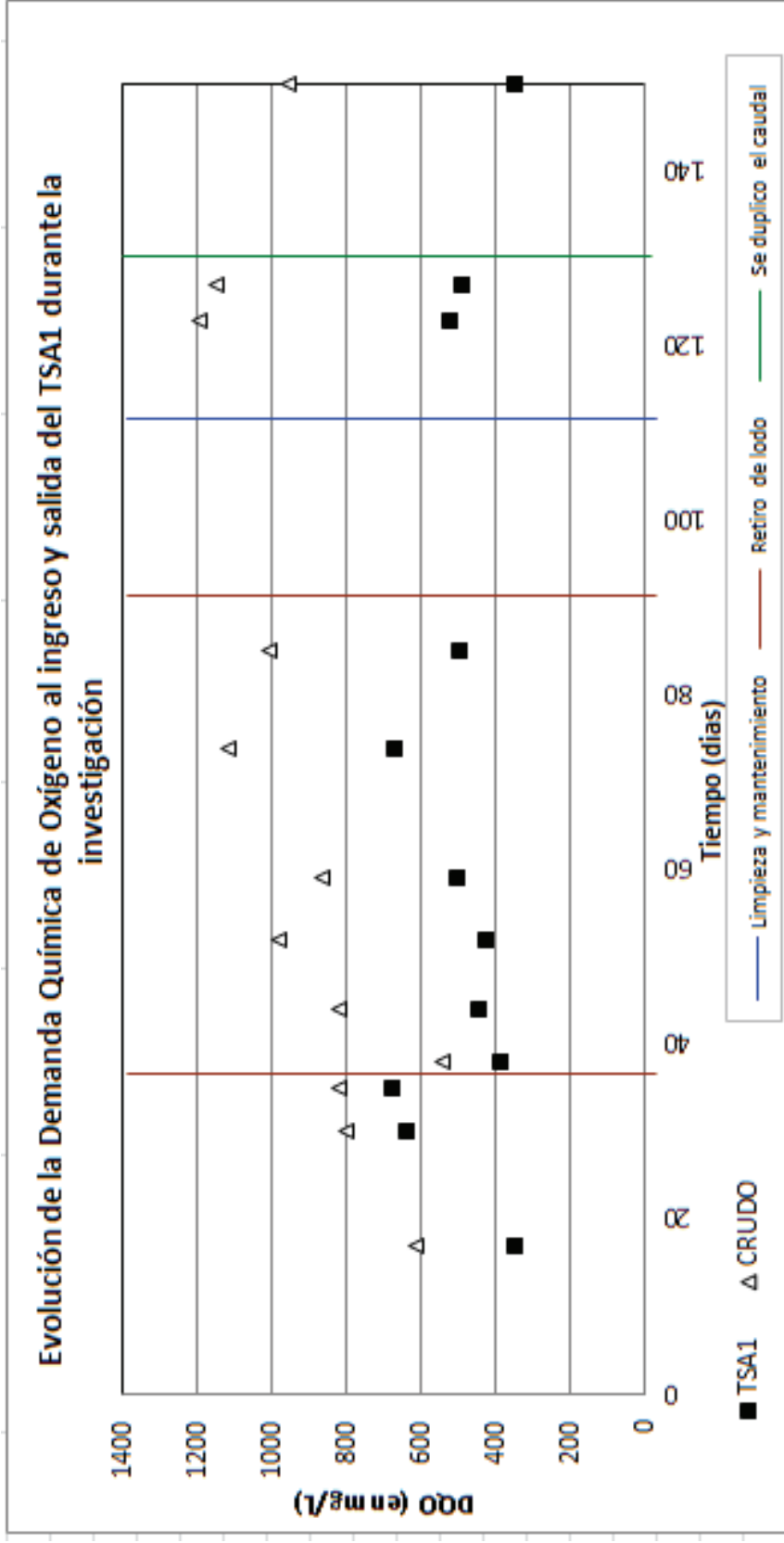


Gráfico 7. 18: Evolución de la Demanda Química de Oxígeno al ingreso y salida del TSA1 durante la investigación.

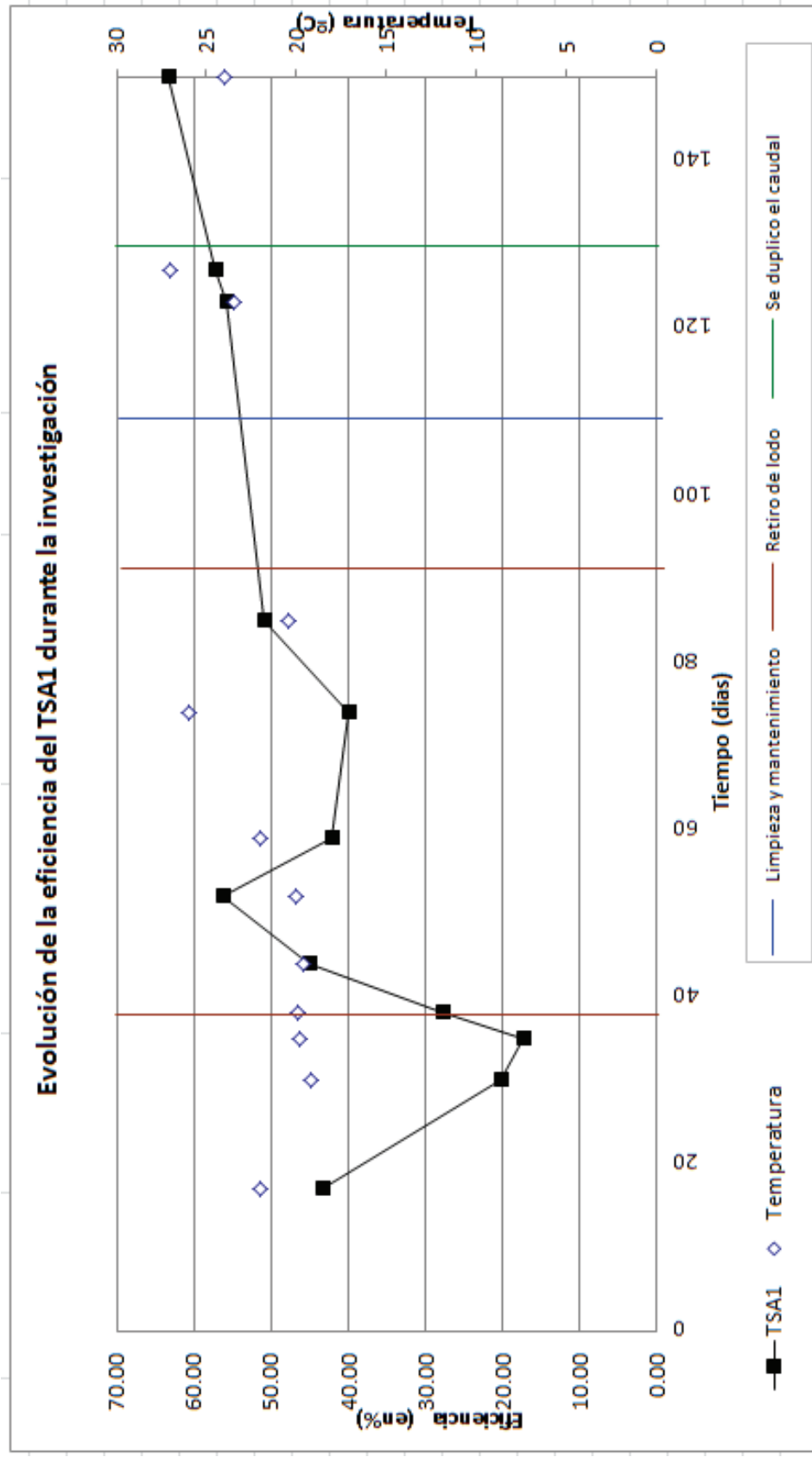


Gráfico 7. 19: Evolución de la Eficiencia de remoción de DQO del TSA1 durante la investigación

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Del gráfico 7.18 del inicio de la evaluación del TSA 1 al 1er evento, se observa que la eficiencia de remoción de DQO del TSA al inicio disminuye hasta alcanzar menor de valor de 17.32% el 02 de agosto del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 24 de julio del 2010 sucedió una contaminación en los sistemas TSA. Este suceso pudo provocar esta disminución de la eficiencia. Luego la eficiencia aumenta a 27.78%. Se realizó el retiro de lodos y la eficiencia aumento a 45.17%.

Del 1er al 2do evento se observa que aumenta la eficiencia de remoción de DBO y esta se mantiene entre 39.89 a 56.38%.

Del 2do al 3er evento no se tiene ningún valor.

Del 3er al 4to evento la eficiencia aumenta progresivamente hasta alcanzar el 57.22%

Del 4to evento al fin del estudio la eficiencia aumenta logrando una eficiencia de 63.43%.

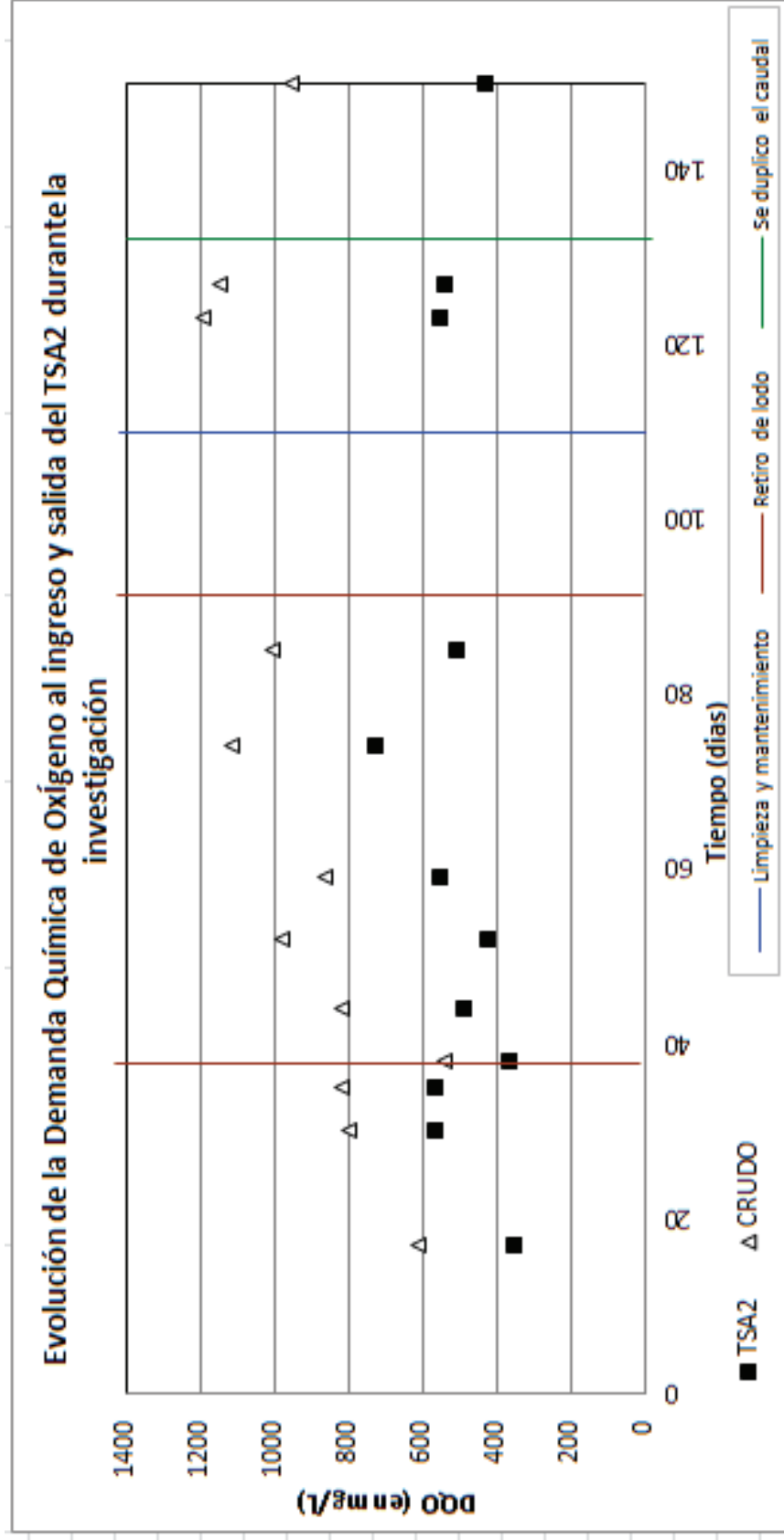


Gráfico 7. 20: Evolución de la Demanda Química de Oxígeno al ingreso y salida del TSA2 durante la investigación.

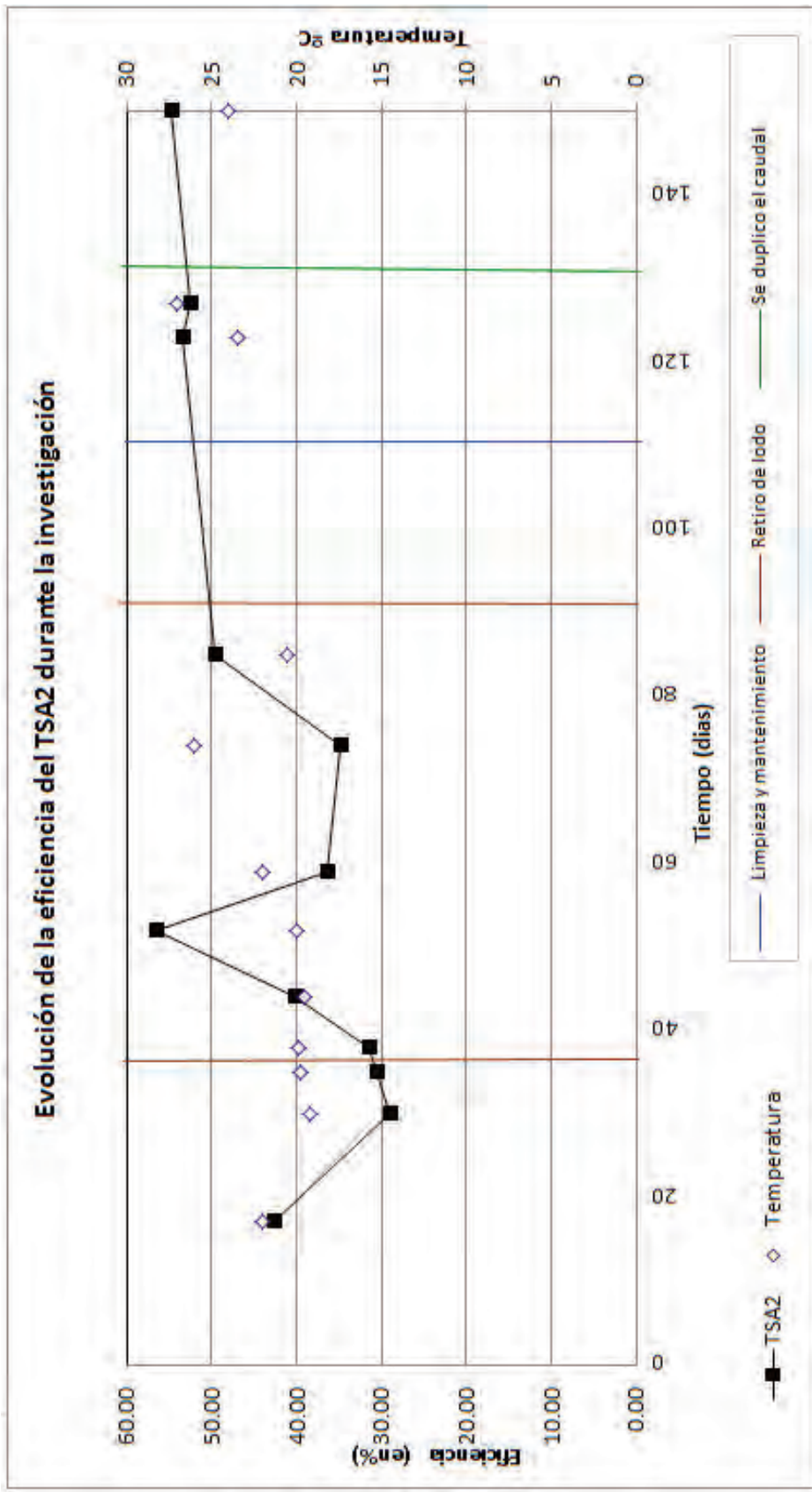


Gráfico 7. 20: Evolución de la Eficiencia de remoción de DQO del TSA1 durante la investigación

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Del gráfico 7.20 del inicio del estudio del TSA2 al 1er evento, se observa que la eficiencia de remoción de DQO del TSA al inicio disminuye hasta alcanzar menor de valor de 29.05% el 27 de julio del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 24 de julio del 2010 sucedió una contaminación en los sistemas TSA. Este suceso pudo provocar esta disminución de la eficiencia. Luego la eficiencia hasta alcanzar el 31.48%. Se realizó el retiro de lodos y la eficiencia aumento a 40.15%.

Del 1er al 2do evento se observa que la eficiencia crece hasta alcanzar el 56.59% luego decrece a 34.79% el 10 de setiembre del 2010. El 21 de setiembre del 2010 la eficiencia del TSA2 es de 49.55%.

Del 2do al 3er evento no se tiene ningún valor.

Del 3er al 4to evento la eficiencia disminuye de 53.40 a 52.61%.

Del 4to evento al fin del estudio la eficiencia aumenta logrando una eficiencia de 54.86%.

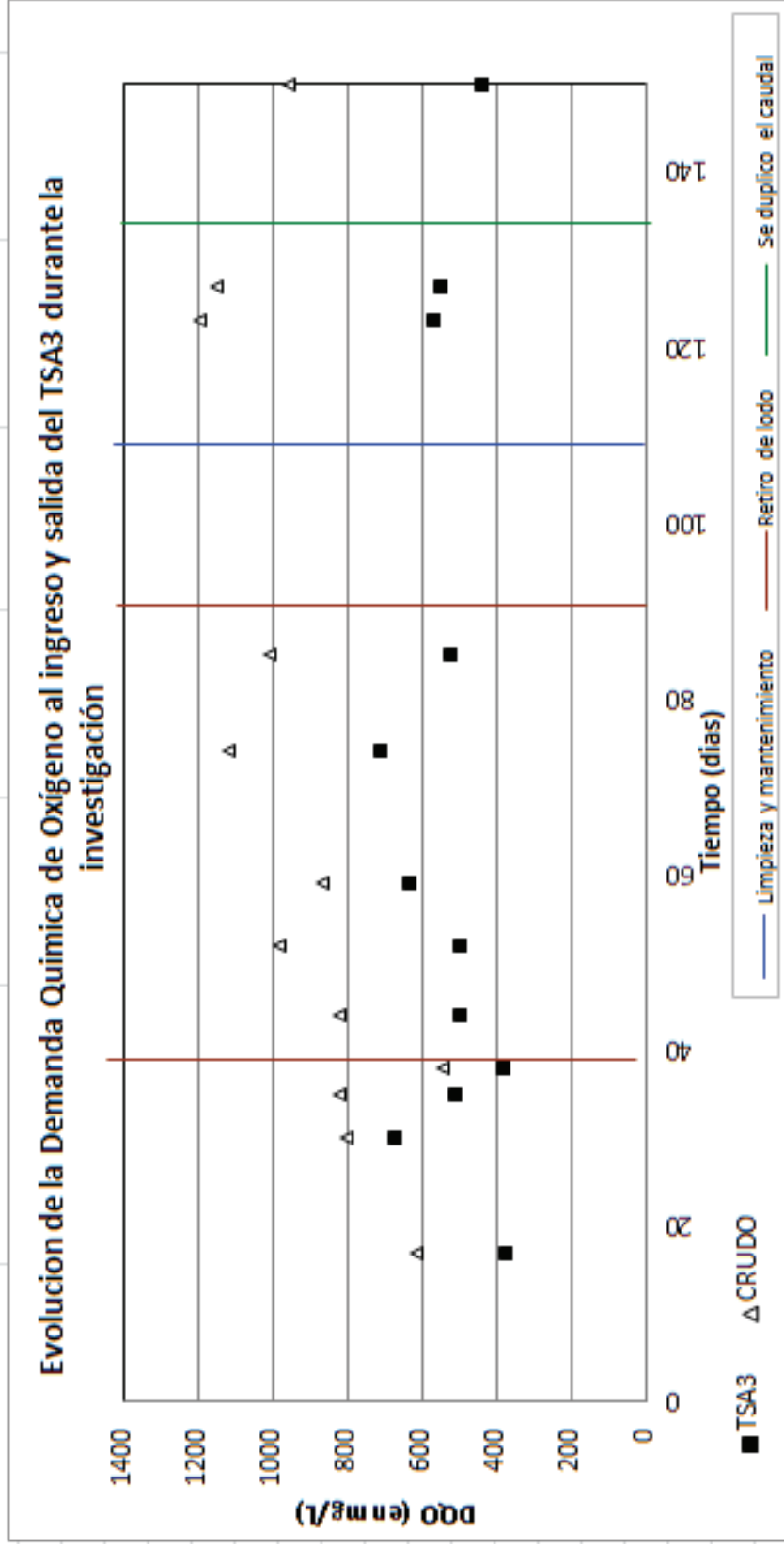


Gráfico 7. 21: Evolución de la Demanda Química de Oxígeno al ingreso y salida del TSA3 durante la investigación.

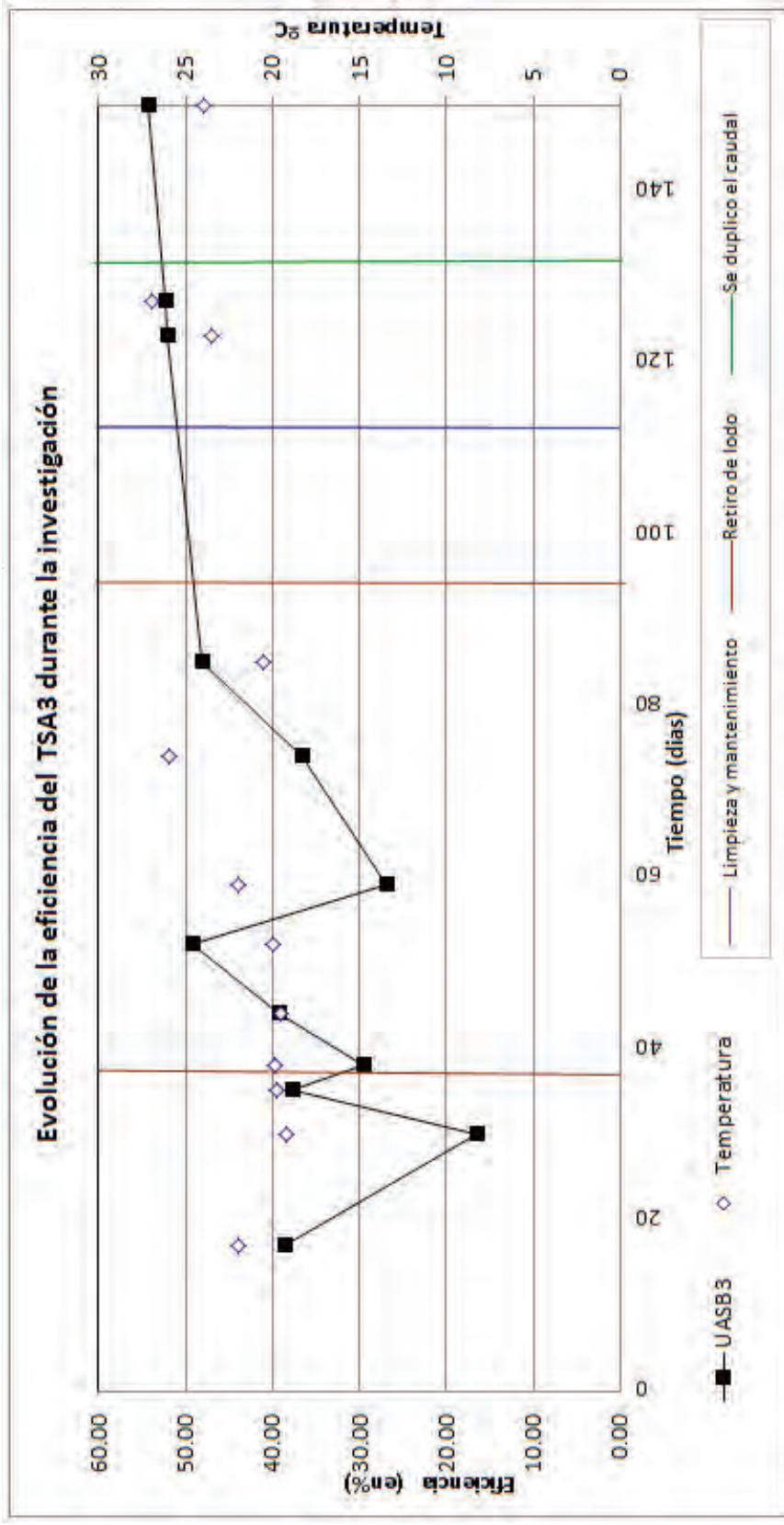


Gráfico 7. 22: Evolución de la Eficiencia de remoción de DQO del TSA3 durante la investigación

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Del gráfico 7.22 del inicio del estudio del TSA3 al 1er evento, se observa que la eficiencia de remoción de DQO del TSA3 al inicio disminuye hasta alcanzar menor de valor de 16.46% el 27 de julio del 2010. Según el cronograma de actividades (Subcapítulo 6.5) el 24 de julio del 2010 sucedió una contaminación en los sistemas TSA. Este suceso pudo provocar esta disminución de la eficiencia. Luego la eficiencia aumenta hasta alcanzar el 37.80%. Se realizó el retiro de lodos y la eficiencia aumento a 39.41%.

Del 1er al 2do evento se observa que la eficiencia crece hasta alcanzar el 49.23% luego decrece a 26.96% el 26 de agosto del 2010. Después la eficiencia aumenta y alcanza el 48.26%.

Del 2do al 3er evento no se tiene ningún valor.

Del 3er al 4to evento la eficiencia aumenta de 52.14 a 52.35%.

Del 4to evento al fin del estudio la eficiencia aumenta logrando una eficiencia de 54.44%.

Alcalinidad

Se ha realizado los análisis para los diferentes periodos de retención de 12 horas, 15 horas, 18 horas.

Tabla 7.1. 13: Valores de la Alcalinidad en el Afluente y Efluente del UASB 1 y UASB 2.

	PRH = 12 Horas		PRH = 15 Horas		PRH = 18 Horas	
	07/03/2012	14/03/2012	29/03/2012	20/04/2012	04/05/2012	21/06/2012
Alcalinidad (en mg/L CaCO ₃)						
Afluente	223,2	152	202	209	211	256
Efluente UASB1	252	180	212	193	246	318
Efluente UASB2	242	168	216	190	225	308
Eficiencia UASB1	-12,90	-18,42	-4,95	7,66	-16,59	-24,22
Eficiencia UASB2	-8,42	-10,53	-6,93	9,09	-6,64	-20,31

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Teniendo como resultado el efluente una mayor alcalinidad al afluente. Se observa para el periodo de 15 horas que la alcalinidad del efluente es menor al afluente pero un rango muy bajo.

Tabla 7.1. 14: Valores de la Alcalinidad en el Afluente y Efluente y Eficiencias de Remoción de Alcalinidad del UASB 1 y UASB 2.

	PRH = 12 Horas (promedio)	PRH = 15 Horas (promedio)	PRH = 18 Horas (promedio)
Alcalinidad (en mg/L CaCO ₃)			
Afluente	187,6	205,5	233,5
Efluente UASB1	216	202,5	282
Efluente UASB2	205	203	266,5
Eficiencia UASB1	-15,66	1,35	-20,40
Eficiencia UASB2	-9,47	1,08	-13,47

El promedio de la alcalinidad del afluente es mayor de 200 mg/L CaCO₃ esto indica que el agua residual tiene una concentración fuerte.

7.1.3 Parámetros Bacteriológicos

7.1.3.1 Coliformes Totales

Tabla 7.1. 15: Valores de Coliformes Totales – Evaluación Sistema TSA.

Puntos de Monitoreo	Coliformes Totales (NMP/100mL)
CRUDO	9.2×10^8
TSA 1	1.6×10^8
TSA 2	9.2×10^8
TSA 3	1.6×10^8

7.1.3.2 Coliformes Termotolerantes

Tabla 7.1. 16: Valores de Coliformes Termotolerantes – Evaluación Sistema TSA.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Puntos de Monitoreo	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)
CRUDO	3.5×10^6
TSA 1	1.6×10^7
TSA 2	1.6×10^7
TSA 3	9.2×10^6

7.1.3.3 Parásitos

Tabla 7.1. 17: Valores de Parásitos – Evaluación Sistema TSA.

Puntos de Monitoreo	Parásitos
CRUDO	0
TSA 1	0
TSA 2	0
TSA 3	0

7.1.4 Análisis de lodos de reactores TSA1, TSA2, TSA3, Reactor 1 y Reactor 2.

7.1.4.1 Velocidad de Sedimentación

a) Velocidades para el reactor TSA 1, 2 y 3

Tabla 7.1. 18: Valores de Velocidad de Sedimentación – Lodo de TSA1, TSA2 y TSA3 ubicado en la PTAR Carapongo realizado a diferentes periodos de retención hidráulico.

Puntos de Monitoreo	Velocidad de Sedimentación (mm/min)	Velocidad de Sedimentación (m/h)
TSA 3 (PRH=12 horas)	12.50	0.75
TSA 2 (PRH=15 horas)	0.75	0.045
TSA 1 PRH=18 horas)	0.42	0.0252

b) Velocidades para el reactor UASB 1 y UASB 2

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Tabla 7.1. 19: Valores de Velocidad de Sedimentación – Lodo del Reactor 1 y 2 ubicado en CITRAR-UNI realizado a diferentes períodos de retención hidráulico.

Velocidad de sedimentación del lodo anaerobio extraído del reactor 1 y 2					
Periodo de Retención Hidráulica (en horas)	Fecha de monitoreo	Reactor 1		Reactor 2	
		Vel. Sed. (en mm/min)	Vel. Sed. (en m/h)	Vel. Sed. (en mm/min)	Vel. Sed. (en m/h)
12	07/03/2012	1.05	0.063	4.02	0.241
	14/03/2012	5.24	0.314	7.16	0.43
15	29/03/2012	4.37	0.262	6.29	0.377
	19/04/2012	4.72	0.283	8.03	0.482
18	04/05/2012	7.86	0.472	8.03	0.482
	21/06/2012	5.07	0.304	4.89	0.293

7.1.4.2 Índice Volumétrico de Lodos

Tabla 7.1. 20: Valores de Índice Volumétrico de Lodos – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI.

Punto de Muestreo	Índice Volumétrico de Lodos para el lodo ubicado en UASB1					
	Fecha de monitoreo					
	07/03/2012	14/03/2012	29/03/2012	19/04/2012	04/05/2012	21/06/2012
UASB 1	11.99	12.22	14.05	12.99	10.62	11.48

Tabla 7.1. 21: Valores de Índice Volumétrico de Lodos – Lodo de UASB 2 para 10 y 30 minutos ubicado en CITRAR-UNI.

Punto de Muestreo	Índice Volumétrico de Lodos para el lodo ubicado en UASB2					
	Fecha de monitoreo					
	07/03/2012	14/03/2012	29/03/2012	19/04/2012	04/05/2012	21/06/2012
UASB 1	12.81	10.61	11.70	12.51	10.40	12.26

7.1.4.3 Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Tabla 7.1. 22: Valores de Sólidos Suspendidos Totales – Lodo de UASB 1 y 2 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.

Sólidos Suspendidos Totales (en mg/L) - Lodo extraído de UASB 1 y 2 ubicado de CITRAR-UNI						
Punto de Muestreo	Fecha de monitoreo					
	07/03/2012	14/03/2012	29/03/2012	20/04/2012	04/05/2012	21/06/2012
	Período de Retención Hidráulico (PRH)					
	PRH = 12 Horas		PRH = 15 Horas		PRH = 18 Horas	
Lodo UASB1	72,575.00	53,175.00	49,100.00	49,280.00	48,013.70	54,866.67
Lodo UASB2	53,100.00	52,800.00	51,267.00	39,960.00	46,160.00	53,033.33

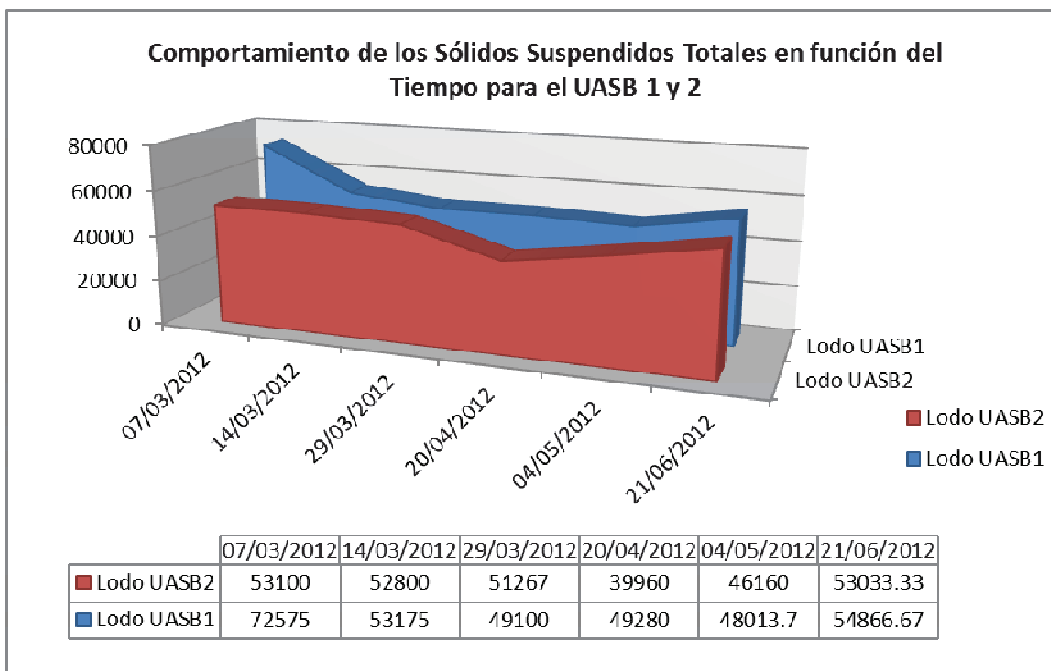


Gráfico 7. 23: Comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales durante la investigación.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Tabla 7.1. 23: Valores de Sólidos Suspendedos Volátiles – Lodo de UASB 1 y 2 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.

Sólidos Suspendedos Volátiles (en mg/L) - Lodo extraído de UASB 1 y 2 ubicado de CITRAR-UNI						
Punto de Muestreo	Fecha de monitoreo					
	07/03/2012	14/03/2012	29/03/2012	20/04/2012	04/05/2012	21/06/2012
	Período de Retención Hidráulico (PRH)					
	PRH = 12 Horas		PRH = 15 Horas		PRH = 18 Horas	
Lodo UASB1	34,975.00	26,225.00	22,800.00	29,360.00	25,917.81	23,833.33
Lodo UASB2	25,100.00	24,700.00	24,217.00	21,220.00	24,740.00	23,100.00

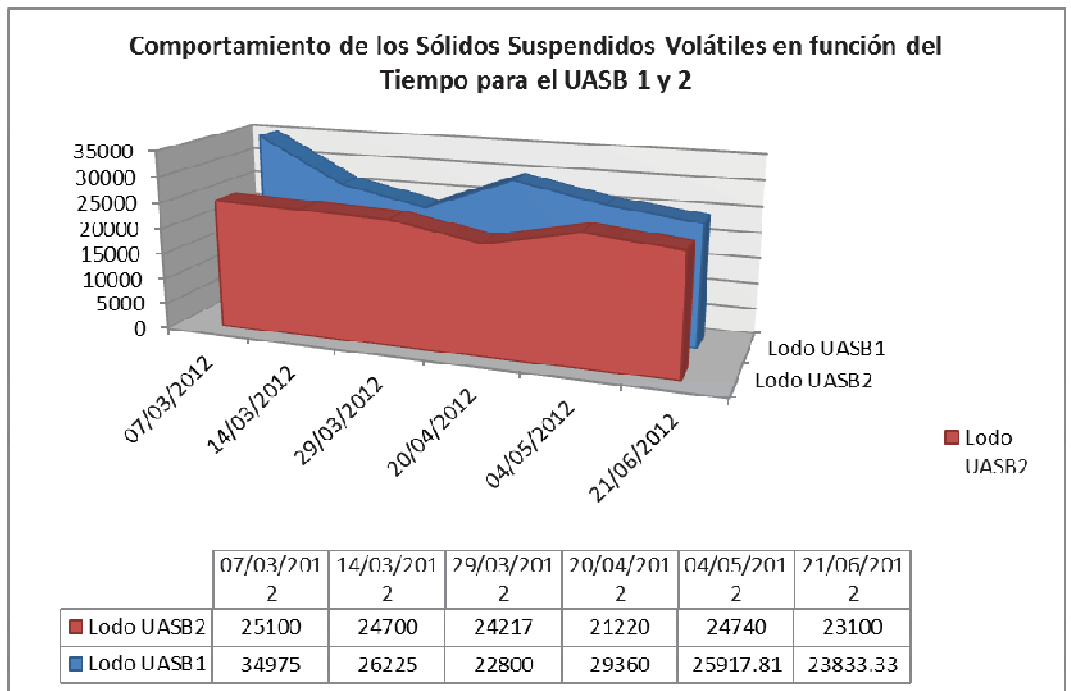


Gráfico 7. 24: Comportamiento de los Sólidos Suspendedos Volátiles durante la investigación.

7.1.4.4 Densidad y Porosidad

Tabla 7.1. 24: Valores de Densidad y Porosidad – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Densidad (en kg/m ³) y Porosidad - Lodo extraído de UASB1 ubicado en CITRAR-UNI						
Parametro	PRH = 12 Horas		PRH = 15 Horas		PRH = 18 Horas	
	07/03/2012	14/03/2012	29/03/2012	20/04/2012	04/05/2012	21/06/2012
Densidad	1205.31795	1201.07005	1211.93686	1162.39123	1183.49528	1223.23636
Porosidad	0.43928545	0.43500755	0.44624967	0.40170881	0.41872165	0.45906789

Tabla 7.1. 25: Valores de Densidad y Porosidad – Lodo de UASB 2 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 7, 14 y 29 de marzo del 2012, 4 de mayo del 2012 y 21 de junio del 2012.

Densidad (en kg/m ³) y Porosidad - Lodo extraído de UASB2 ubicado en CITRAR-UNI						
Parametro	PRH = 12 Horas		PRH = 15 Horas		PRH = 18 Horas	
	07/03/2012	14/03/2012	29/03/2012	20/04/2012	04/05/2012	21/06/2012
Densidad	1208.79473	1210.63826	1208.91646	1186.8013	1184.94237	1222.78817
Porosidad	0.44289671	0.44485341	0.443025	0.42162419	0.41998353	0.45853526

De manera paralela se realizó en laboratorio la densidad con el picnómetro, obteniendo:

$$\rho = 999,3524 \quad \text{kg/m}^3$$

Tabla 7.1. 26: Valores de Densidad – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 4 de mayo del 2012.

Densidad de lodo			
Punto de Muestreo	Metodología		Unidad
	Ecuación de A.G. Vlyssides	Método del picnómetro	
UASB1	1384.9645	999,3524	kg/m ³

7.1.4.5 Viscosidad del lodo

El parámetro de la viscosidad se midió en el Laboratorio de Normalización de Petróleo y Derivados de la Facultad de Ingeniería de Petróleo.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Se midió con el viscosímetro FANN, lector de viscosímetro de 38-40/2 centi points a temperatura de 20°C.

Tabla 7.1. 27: Valor de Viscosidad – Lodo de UASB 1 ubicado en CITRAR-UNI. Monitoreo realizado el 4 de mayo del 2012

Viscosidad de lodo		
Punto de Muestreo	Metodología: Viscosímetro FANN	Unidad
UASB1	$8.77 \cdot 10^{-4}$	kg.m ⁻¹ .

7.1.4.6 Tamaño y forma

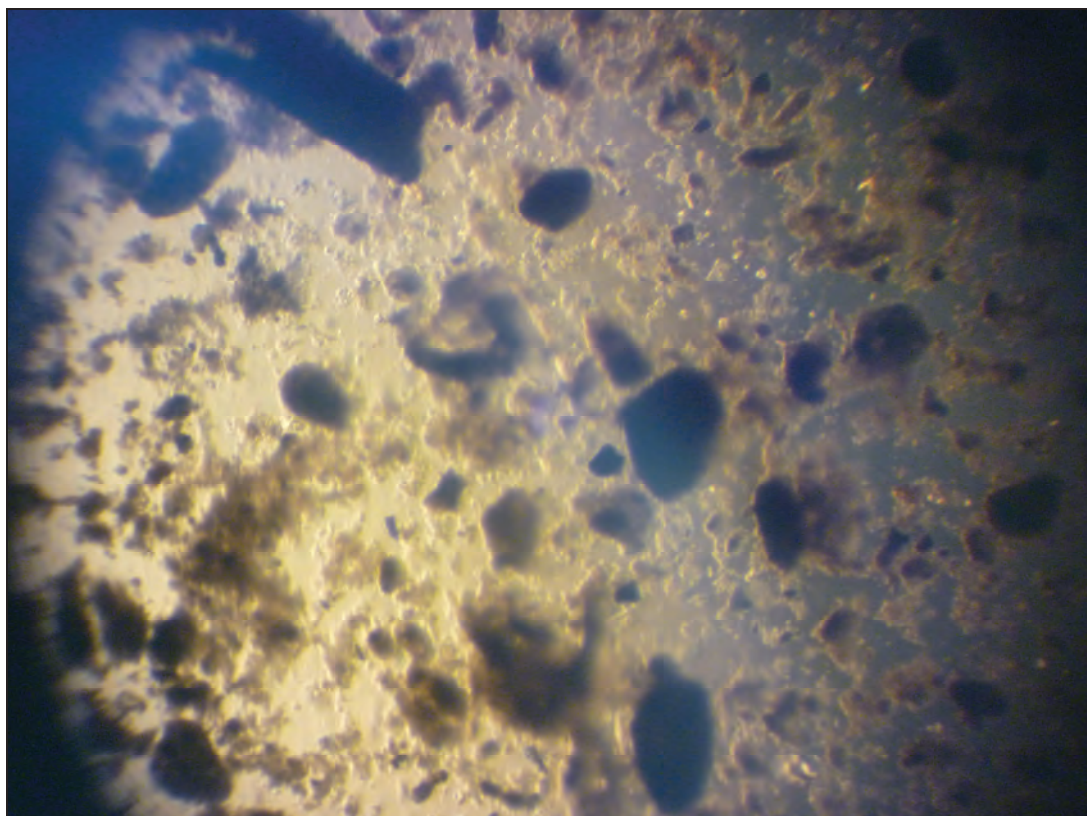


Foto 7. 1: Se muestra lodo proveniente del TSA1. La forma del flóculo es ovalada.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO



Foto 7. 2: Se muestra lodo proveniente del TSA2. La forma del flóculo es ovalada.



Foto 7. 3: Se muestra lodo proveniente del TSA3. La forma del flóculo es ovalada.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.1.5 Actividad Metanogénica Específica de Lodos (AME)

7.1.5.1 Actividad Metanogénica Específica de Lodos (AME) del 3 al 17 agosto del 2010

Debido a problemas en la continuidad de la medición (ver Tabla 6.6) no se pudo determinar la AME de los TSA1, TSA2 y TSA3.

7.1.5.2 Actividad Metanogénica Específica de Lodos (AME) del 20 agosto al 2 de setiembre del 2012

Tabla 7.1. 28; Se indican los resultados del AME obtenidos utilizando la metodología 1 para los puntos de muestreo UASB y R1.

Actividad Metanogénica de Lodos utilizando la metodología 1 en los puntos de muestreo: UASB, Reactor 1 (R1) y Reactor 2 (R2)				
Descripción	UASB	R1		R2
	Melotodología 1	Melotodología 1	Melotodología 1	Melotodología 1
Sin Solución NAOH	0.0070	0.0032	0.0022	*

(*) No se realizó la prueba AME para el Reactor R 2 porque no se contaba con la cantidad suficiente del lodo en el reactor.

7.1.5.3 Actividad Metanogénica Especifica de Lodos (AME) del 3 al 17 de noviembre del 2012

Datos de los parámetros medidos al inicio de la prueba:

Tabla 7.1. 29; Se indica la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) obtenidos el 3 de noviembre de 2012.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	MÉTODO
DQO	mg/L	37500	37480	85000	297	Colorimétrico
SSV	mg/L	83675	77150	318100		Gravimétrico

Dónde:

M1: Contiene lodo extraído del Reactor 1.

M2: Contiene lodo extraído del Reactor 2.

M3: Contiene lodo extraído del UASB de CITRAR-UNI.

M4: Contiene agua residual que ingresa al Reactor 1, 2 o UASB.

Datos de los parámetros medidos al final de la prueba:

Tabla 7.1. 30: Se indica la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV) obtenidos el 17 de noviembre de 2012 en los frascos con lodo.

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	M6	MÉTODO
DQO	MG/L	8180	7220	6990	8760	7980	7100	Colorimétrico
SSV	MG/L	246.7	222.3	209	256.6	226.1	224.5	Gravimétrico

Dónde:

M1: Contiene lodo extraído del UASB de CITRAR-UNI. El frasco con agua por el cual pasa el biogás contiene la solución de NaOH.

M2: Contiene lodo extraído del Reactor 1. El frasco con agua por el cual pasa el biogás contiene la solución de NaOH.

M3: Contiene lodo extraído del Reactor 2. El frasco con agua por el cual pasa el biogás contiene la solución de NaOH.

M4: Contiene lodo extraído del UASB de CITRAR-UNI. El frasco con agua por el cual pasa el biogás no contiene la solución de NaOH.

M5: Contiene lodo extraído del Reactor 1. El frasco con agua por el cual pasa el biogás no contiene la solución de NaOH. Los sub-índices indican que la prueba se realizó por duplicado.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

M6: Contiene lodo extraído del Reactor 2. El frasco con agua por el cual pasa el biogás no contiene la solución de NaOH. Los sub-índices A y B indican que la prueba se realizó por duplicado.

Tabla 7.1. 31: Indica los resultados obtenidos utilizando las metodologías 1 y 2 para los puntos de muestreo UASB, R1 y R2 con intervención de la solución de NaOH en la medición del biogás.

Comparación de los resultados de actividad metanogénica específica de lodos obtenidos utilizando la metodología 1 y 2 en los puntos de muestreo: UASB, Reactor 1 (R1) y Reactor 2 (R2) y con intervención de la solución de NaOH en la medición del biogás.								
Descripción	Puntos de Muestreo							
	UASB		R1			R2		
	Metodología 1	Metodología 2	Metodología 1	Metodología 2	Metodología 1	Metodología 2	Metodología 2	
Sin Solución NaOH	0,0020	0,0141	0,0038	0,0081	0,0171	0,0052	0,0093	0,0200
Con Solución NaOH	0,0051	0,0178	0,0031	0,0075	0,0187	0,0041	0,0082	0,0207

7.2 TENDENCIAS DE RESULTADOS – SISTEMA TSA

7.2.1 Tendencias Eficiencia remoción DQO vs. Temperatura

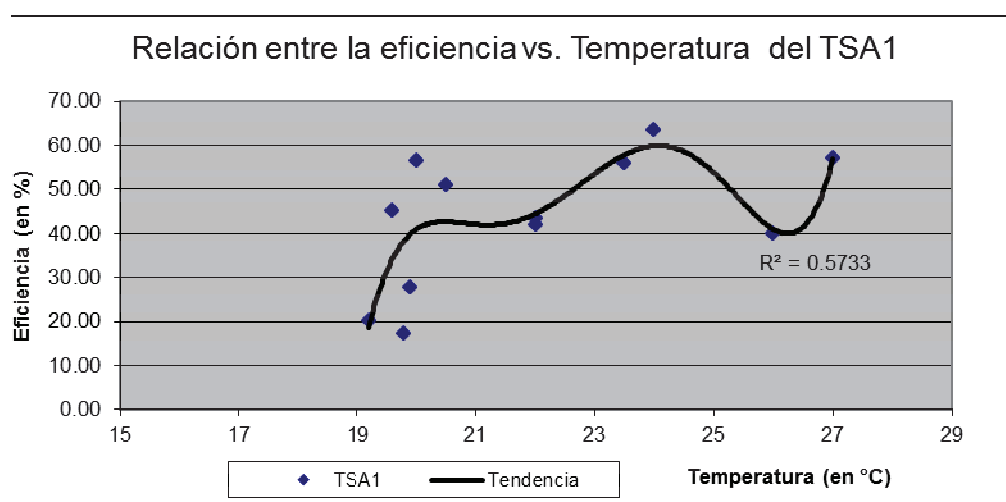


Gráfico 7. 25: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Temperatura para el TSA1 (PRH=18 horas).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Se observa que de 19 a 21 °C se presenta diferentes valores de eficiencia desde 20 hasta 55%. A partir de 21 hasta 24 °C la eficiencia aumenta proporcionalmente a la temperatura.

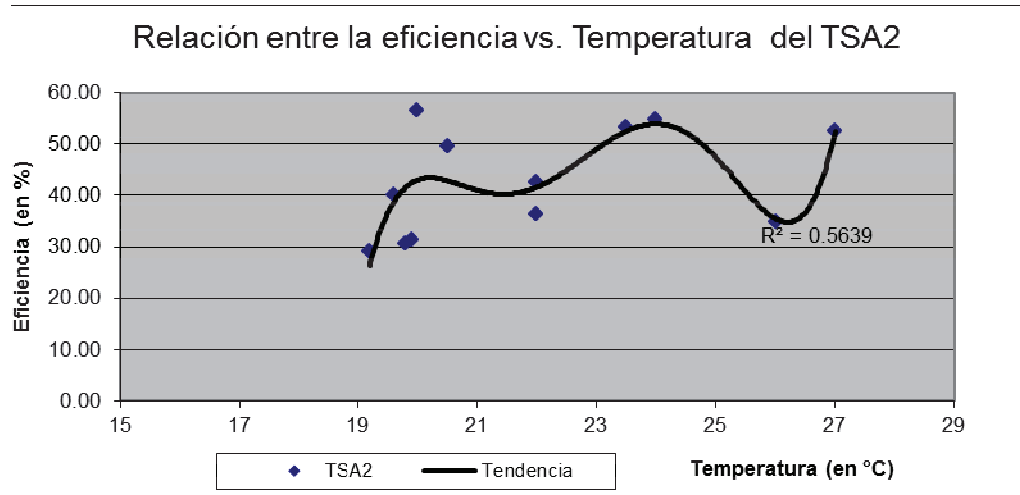


Gráfico 7. 26: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Temperatura para el TSA2 (PRH=15 horas).

Se observa que de 19 a 21 °C se presenta diferentes valores de eficiencia desde 30 hasta 55%. A partir de 21 hasta 24 °C la eficiencia aumenta proporcionalmente a la temperatura pero el TSA 2 alcanza eficiencias menores que el TSA 1.

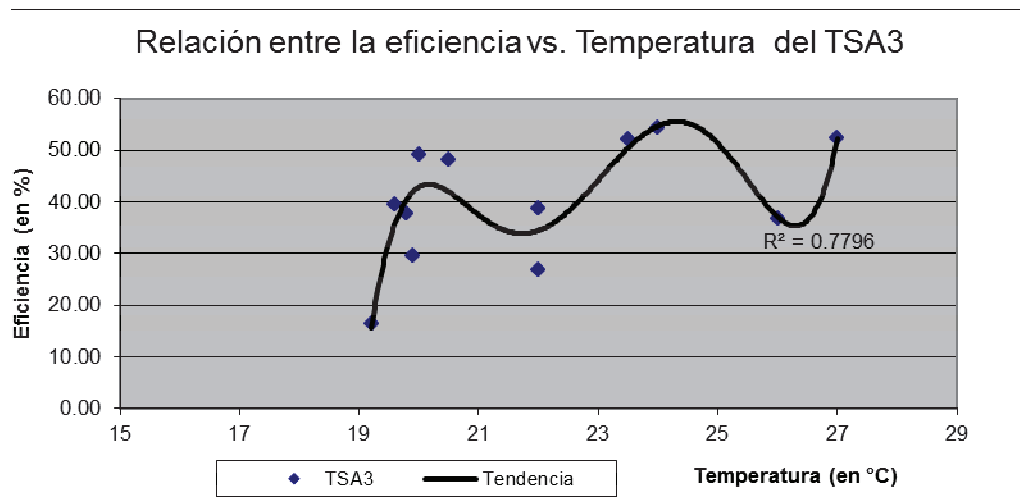


Gráfico 7. 27: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Temperatura para el TSA3 (PRH=12 horas).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

Se observa que de 19 a 21 °C se presenta diferentes valores de eficiencia desde 15 hasta 50%. A partir de 21 hasta 24 °C la eficiencia aumenta proporcionalmente a la temperatura pero el TSA 3 alcanza eficiencias menores que el TSA 1.

7.2.2 Tendencias Eficiencia remoción DBO vs. Temperatura

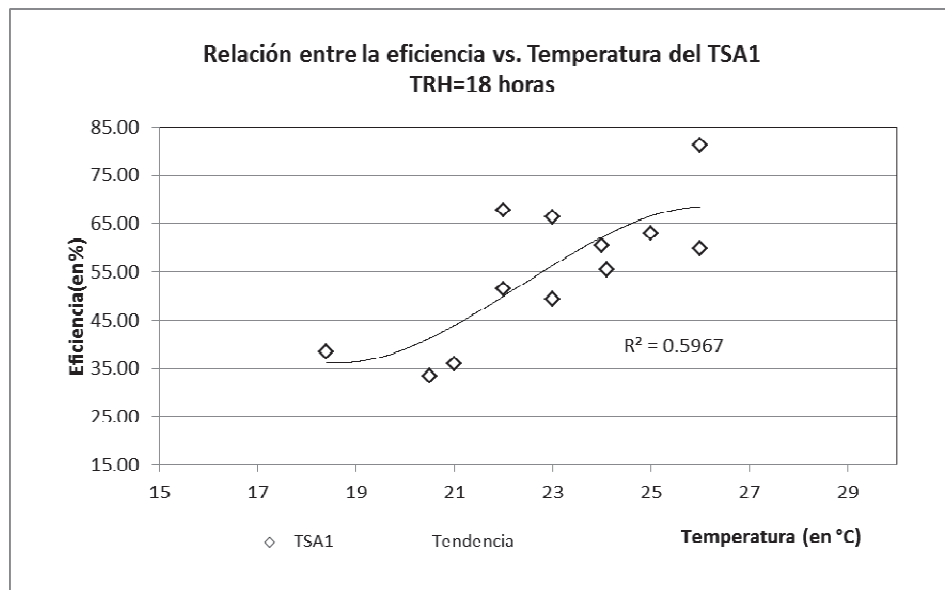


Gráfico 7. 28: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Temperatura para el TSA1 (PRH=18 horas).

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

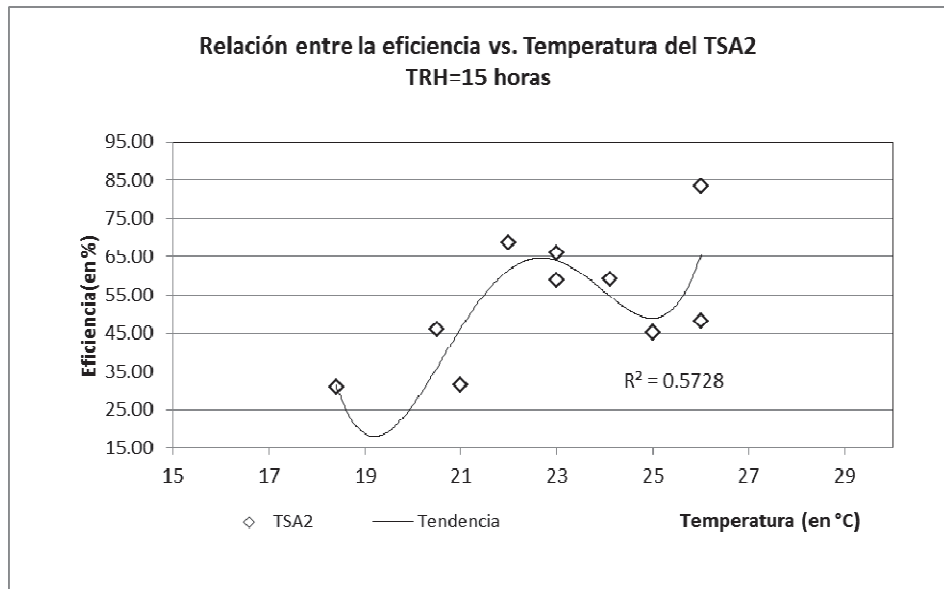


Gráfico 7. 29: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Temperatura para el TSA2 (PRH=15 horas).

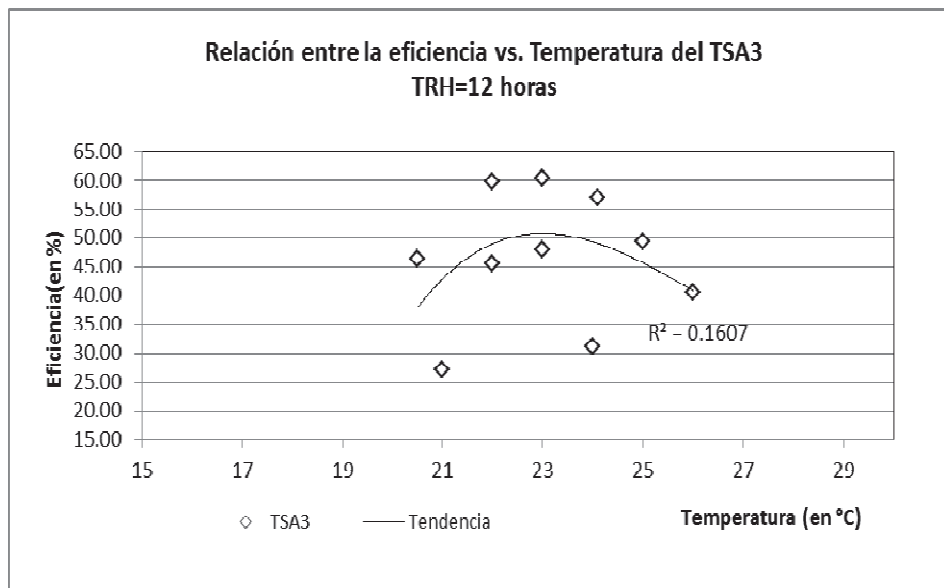


Gráfico 7. 30: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Temperatura para el TSA3.

El gráfico 7.23 corresponde a la relación de eficiencias vs. temperatura del TSA1. Se cumple que a mayor temperatura mayor eficiencia de remoción de DBO. Respecto al TSA2, el gráfico 7.24 muestra que para

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

este TSA la tendencia de eficiencia vs. temperatura es senoidal. Y para el TSA3 el gráfico 7.25 muestra que hasta 23°C hay un aumento de eficiencia y después de alcanzar esa temperatura la eficiencia decrece.

7.2.3 Tendencias Eficiencia remoción DQO vs. Periodo de Retención Hidráulico

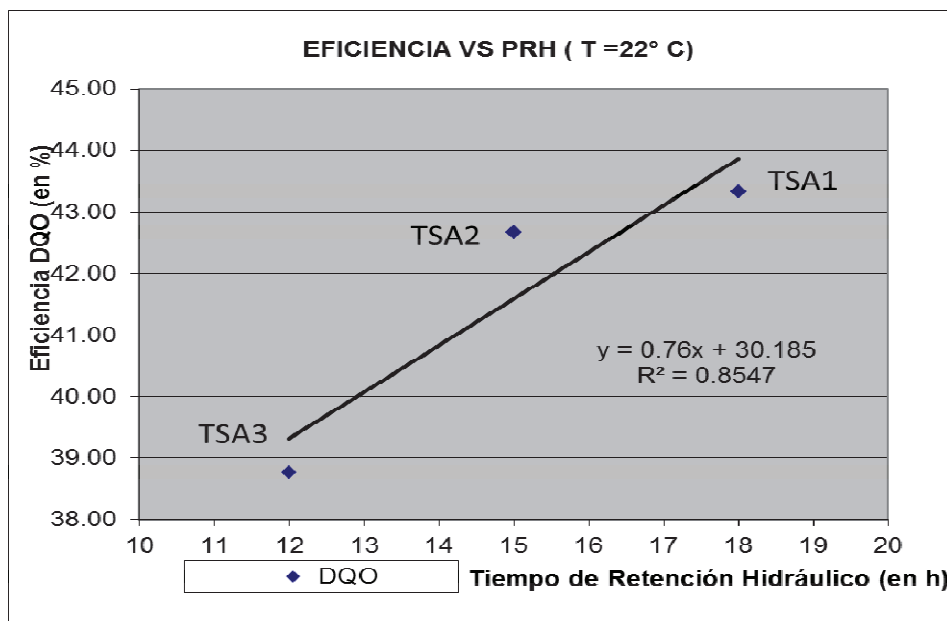


Gráfico 7. 31: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 14 de julio del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

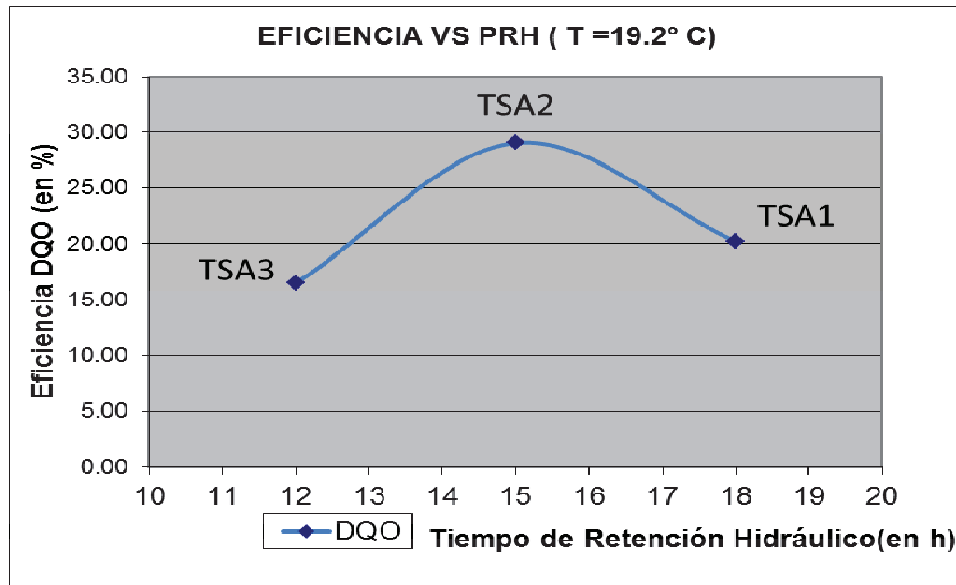


Gráfico 7. 32: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 27 de julio del 2010.

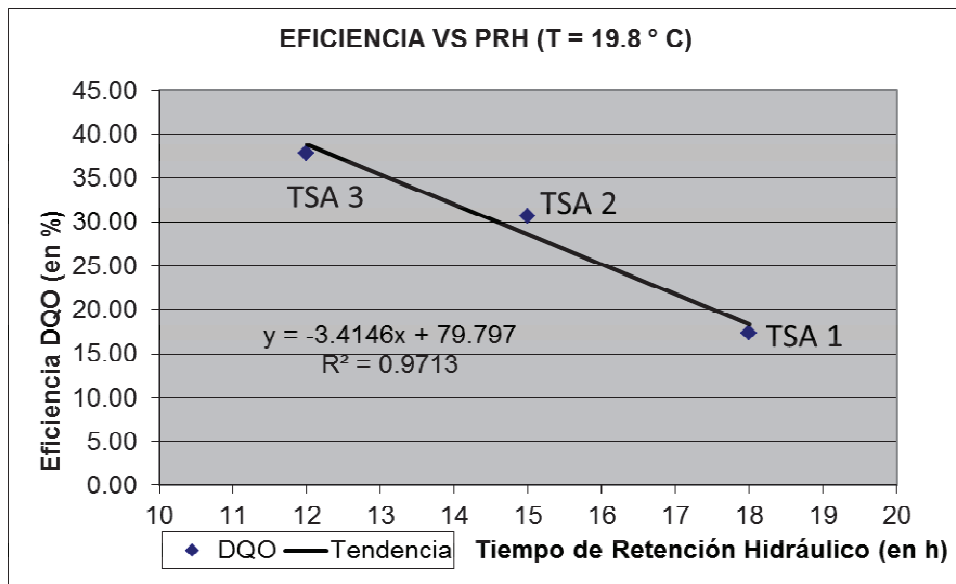


Gráfico 7. 33: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 02 de agosto del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

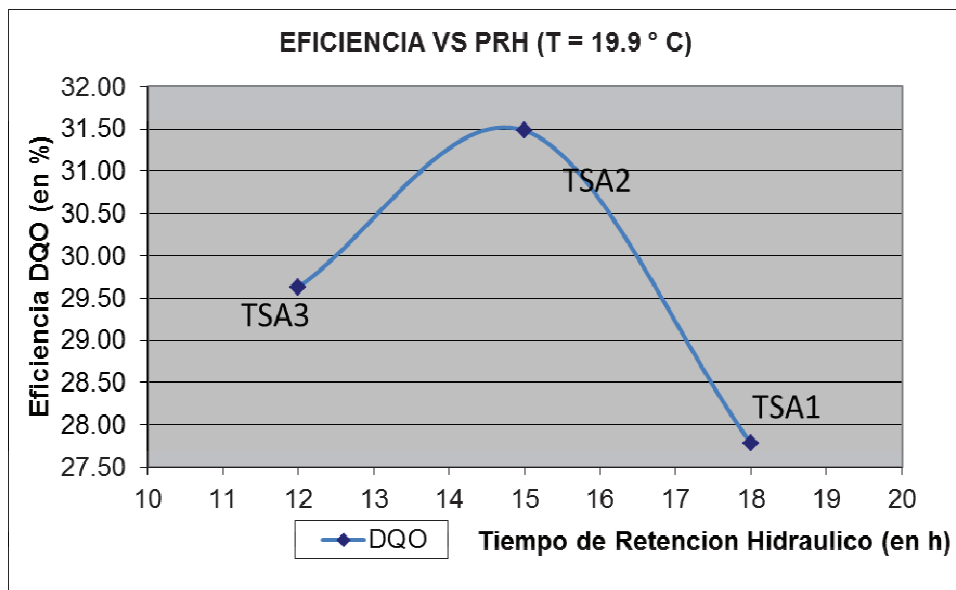


Gráfico 7. 34: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 05 de agosto del 2010.

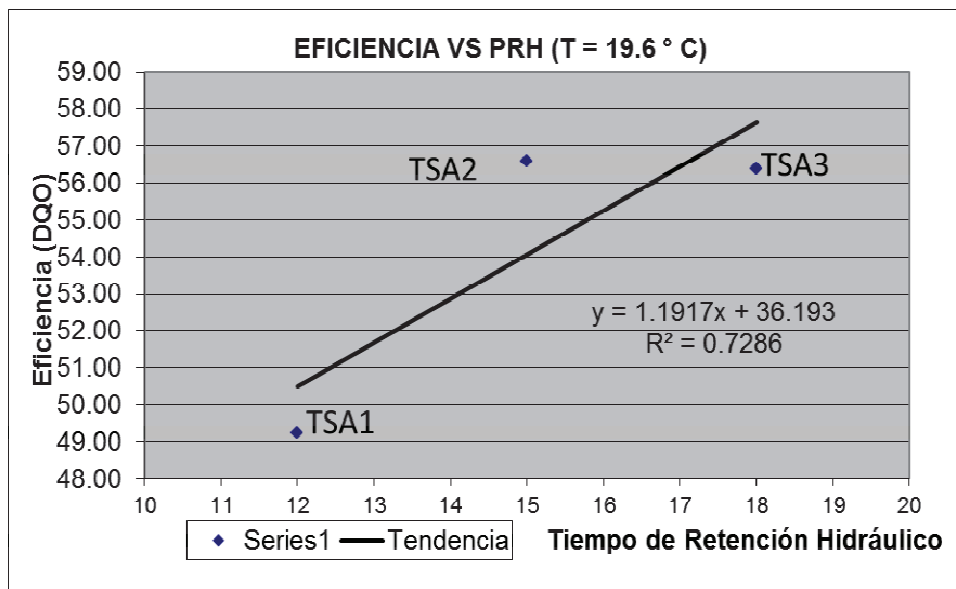


Gráfico 7. 35: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 11 de agosto del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

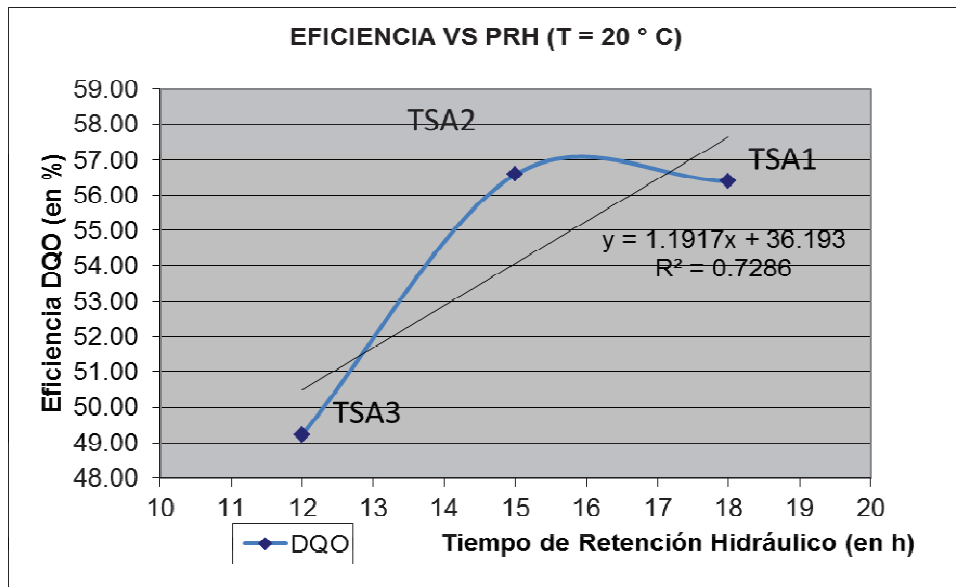


Gráfico 7. 36: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 19 de agosto del 2010.

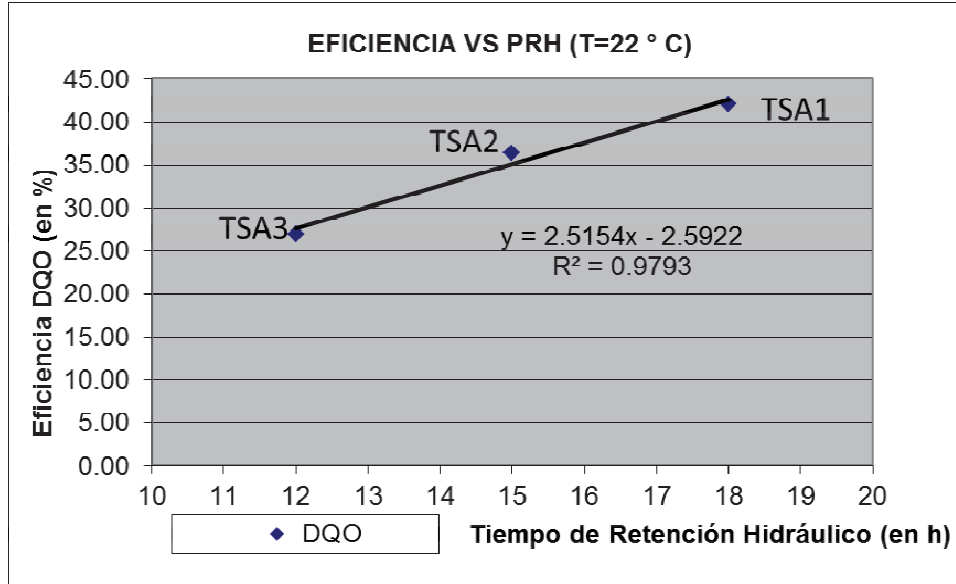


Gráfico 7. 37: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 26 de agosto del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

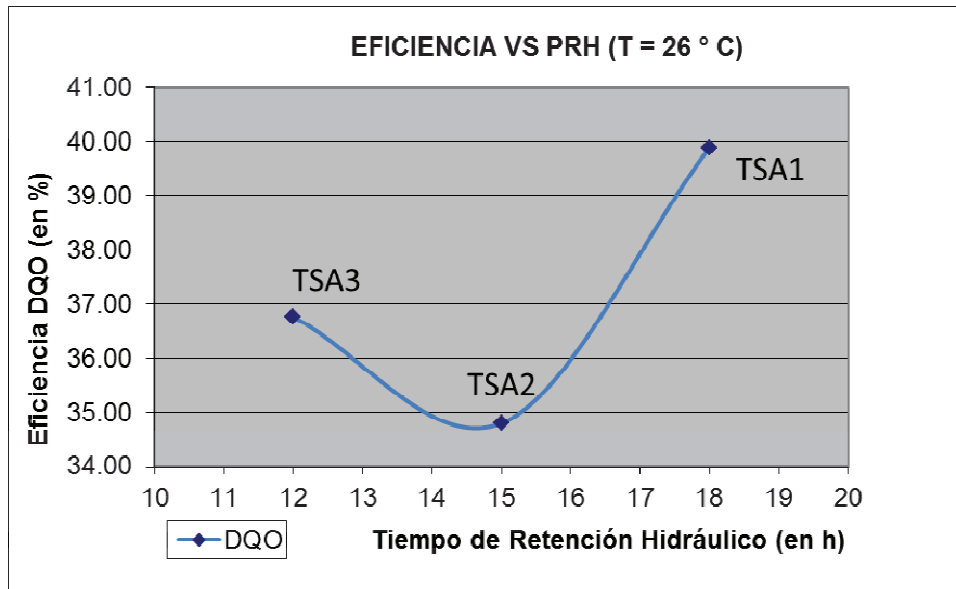


Gráfico 7. 38: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 10 de setiembre del 2010.

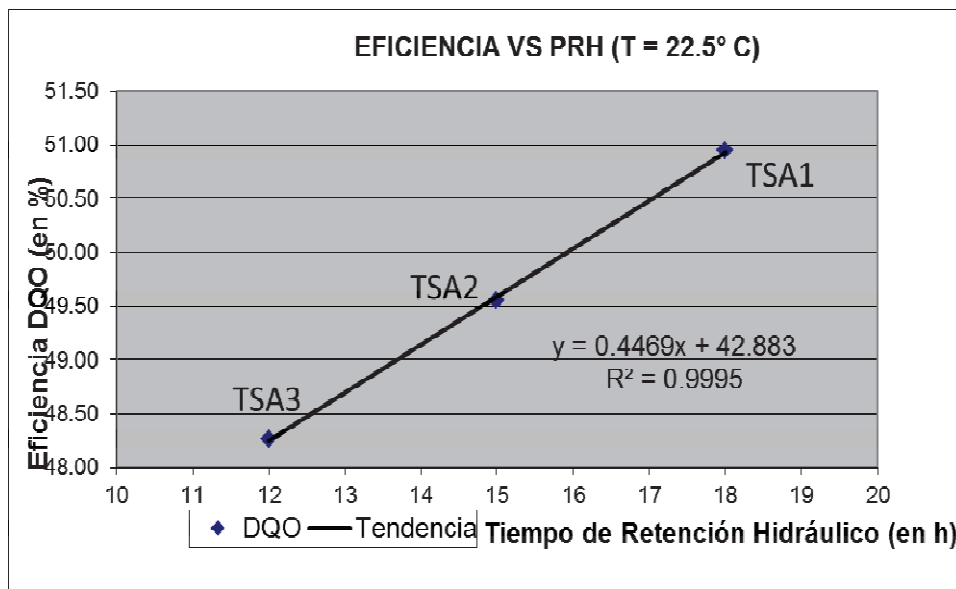


Gráfico 7. 39: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 21 de setiembre del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

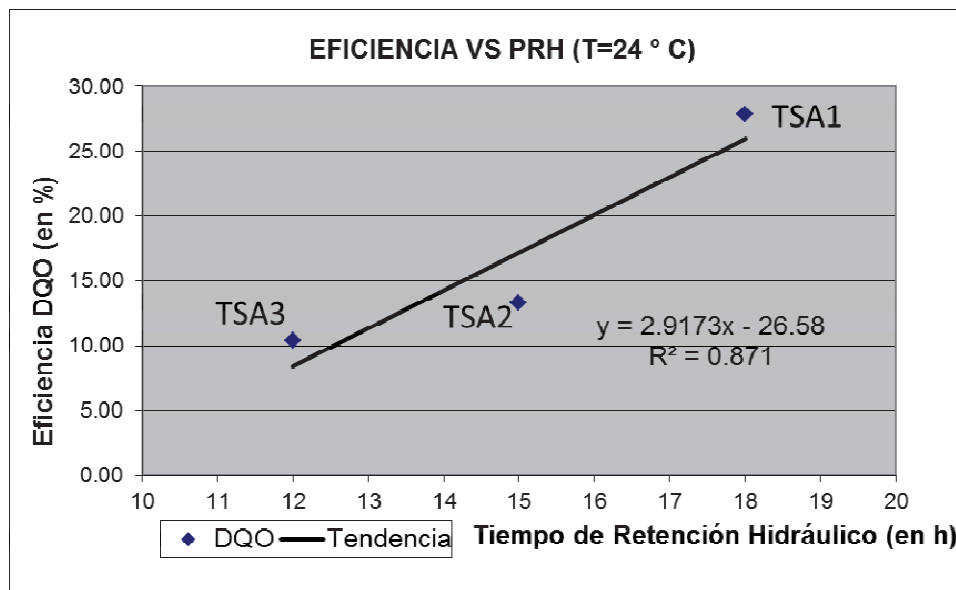


Gráfico 7. 40: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 06 de octubre del 2010.

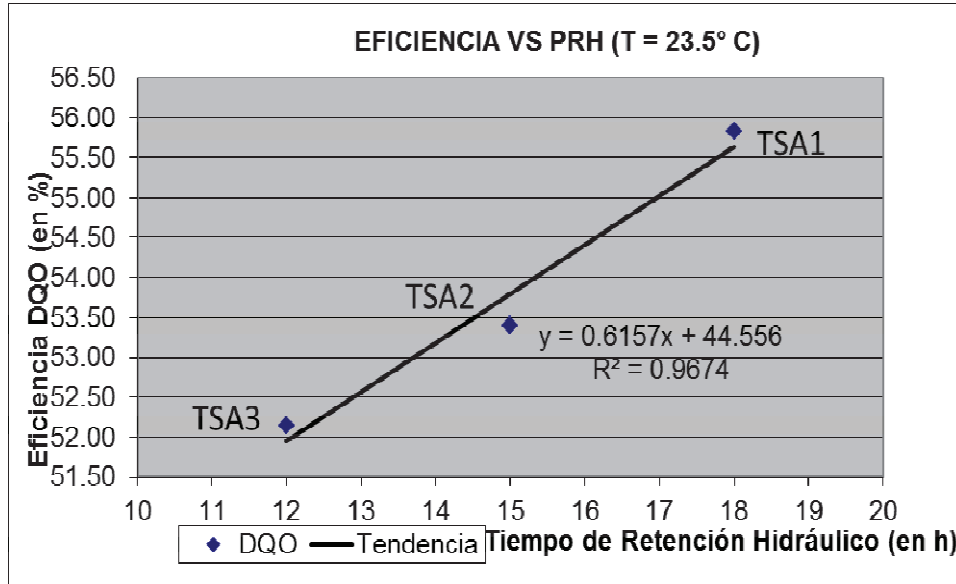


Gráfico 7. 41: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 29 de octubre del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

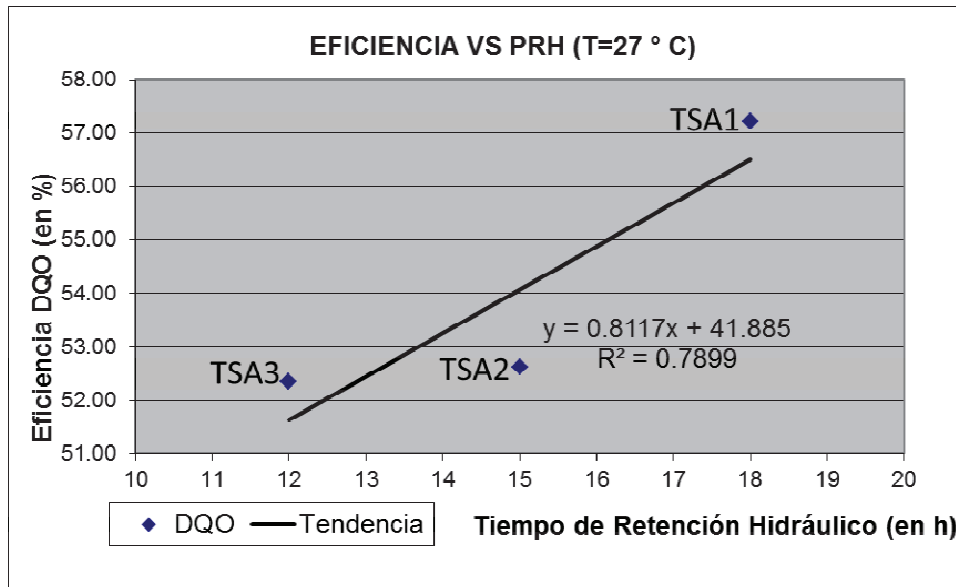


Gráfico 7. 42: Relación entre la eficiencia de remoción de DQO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 03 de diciembre del 2010.

7.2.4 Tendencias Eficiencia remoción DQO vs. Período de Retención Hidráulico – del promedio.

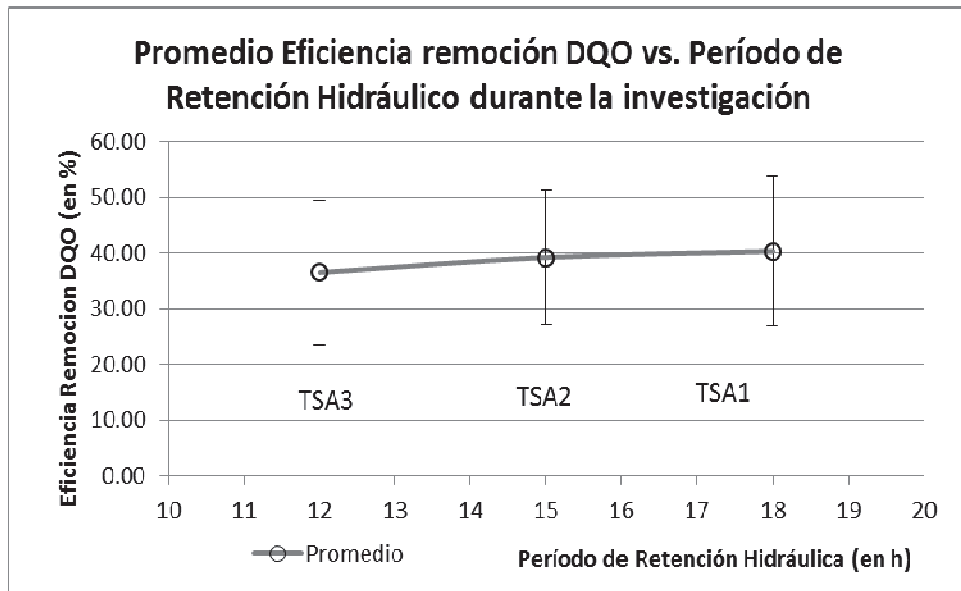


Gráfico 7. 43: Curva obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

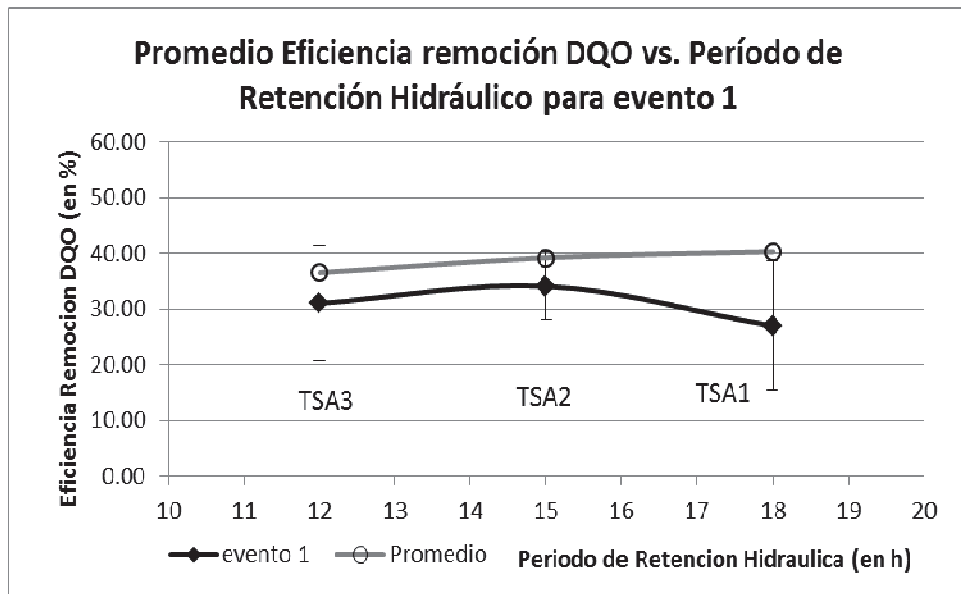


Gráfico 7. 44: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante el evento 1 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

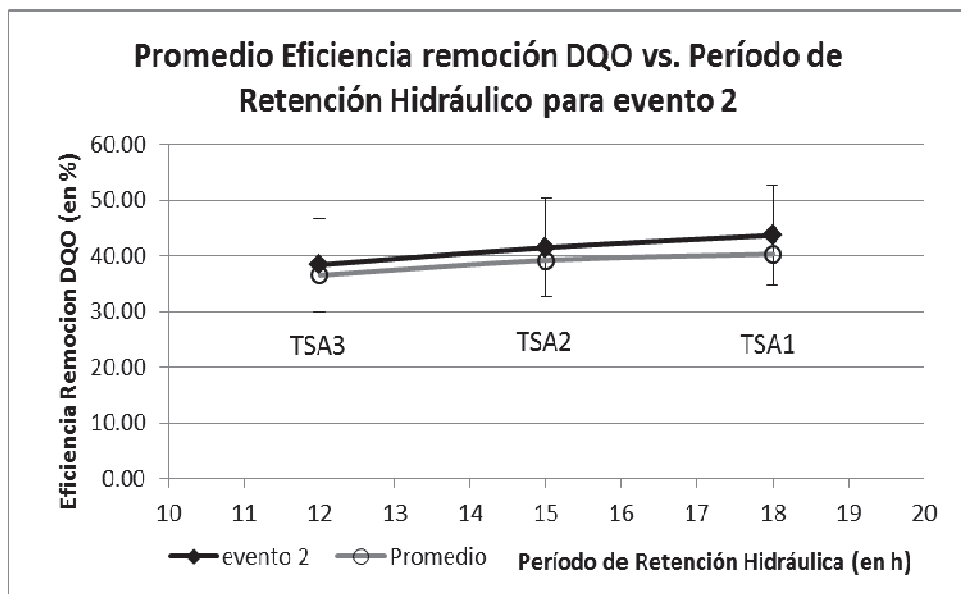


Gráfico 7. 45: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante el evento 2 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

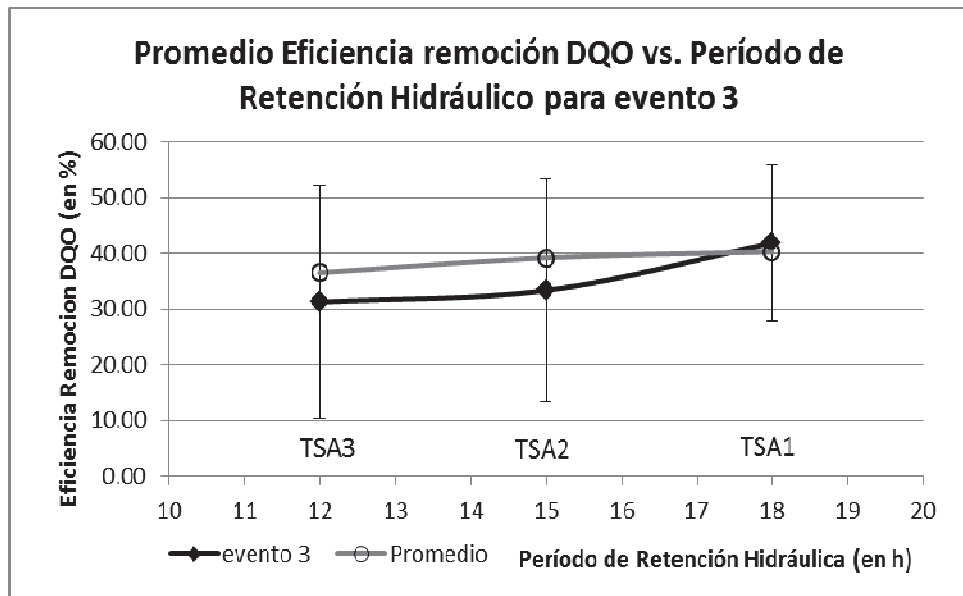


Gráfico 7.46: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante el evento 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

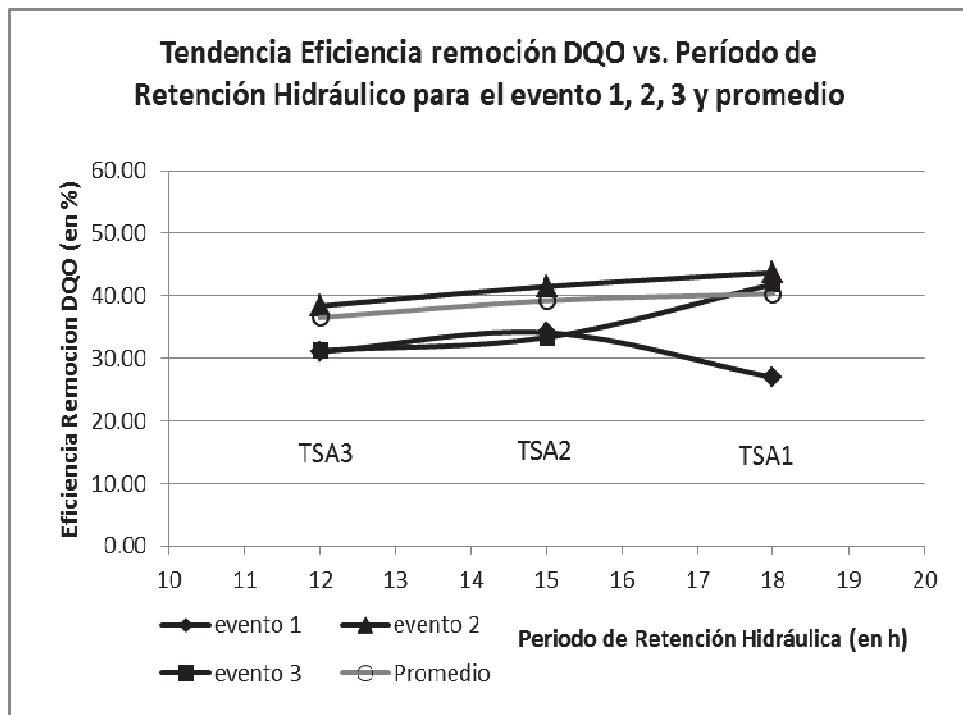


Gráfico 7.47: Comparación entre las curvas obtenidas del promedio de la eficiencia de remoción de DQO durante los evento 1, 2 y 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

7.2.5 Tendencias Eficiencia remoción DBO vs. Periodo de Retención Hidráulico

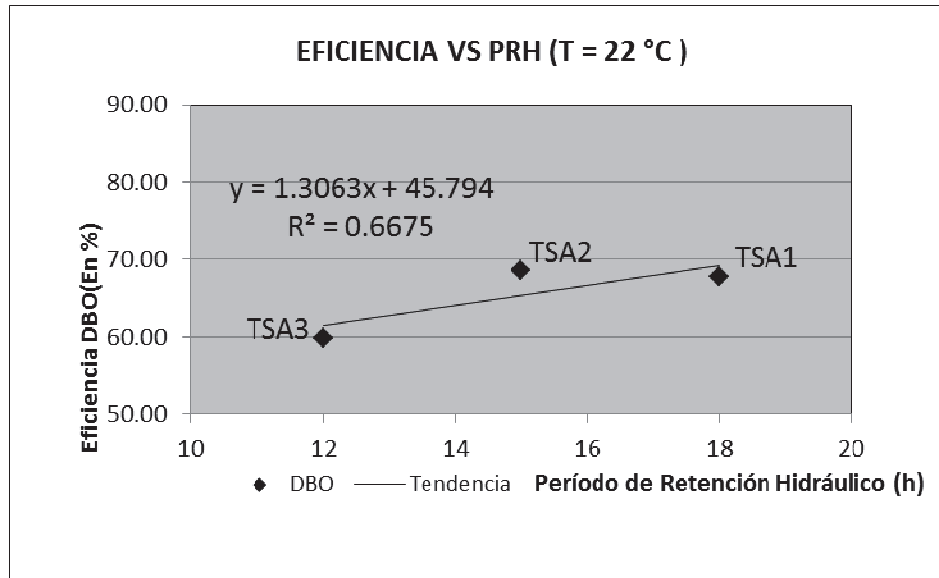


Gráfico 7. 48: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 14 de julio del 2010.

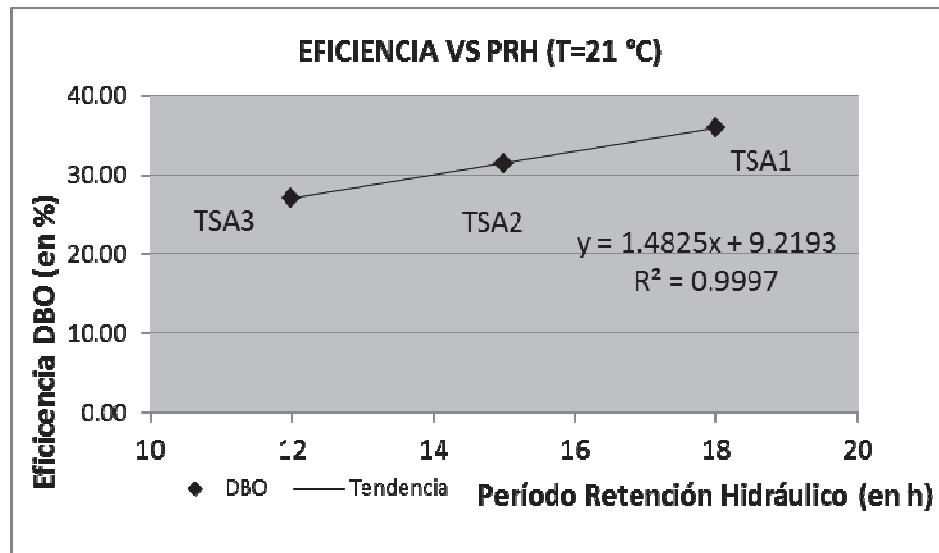


Gráfico 7. 49: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 15 de julio del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

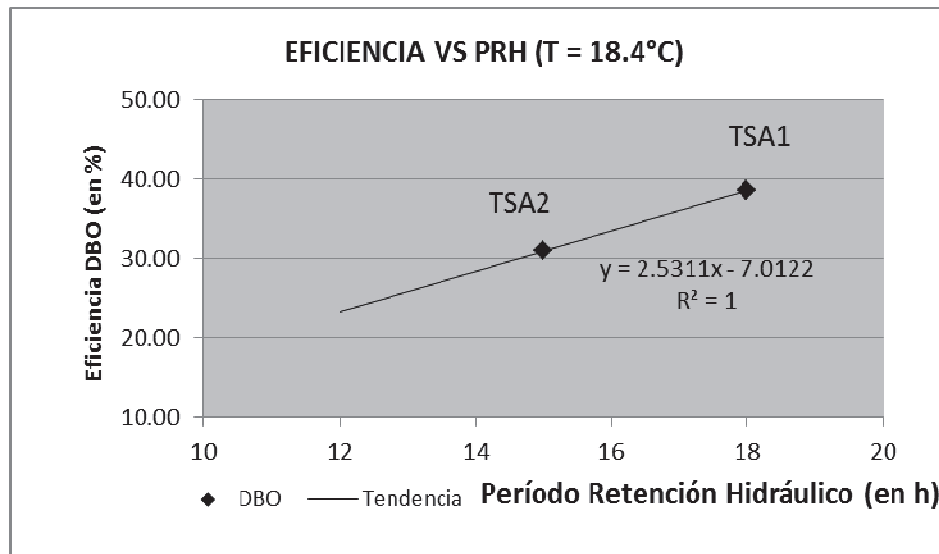


Gráfico 7. 50: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 06 de agosto del 2010.

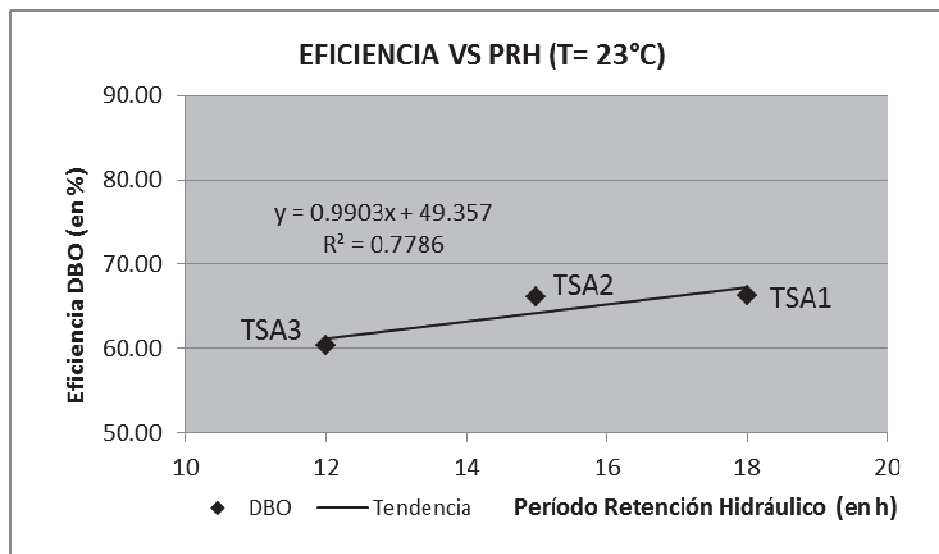


Gráfico 7. 51: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 19 de agosto del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

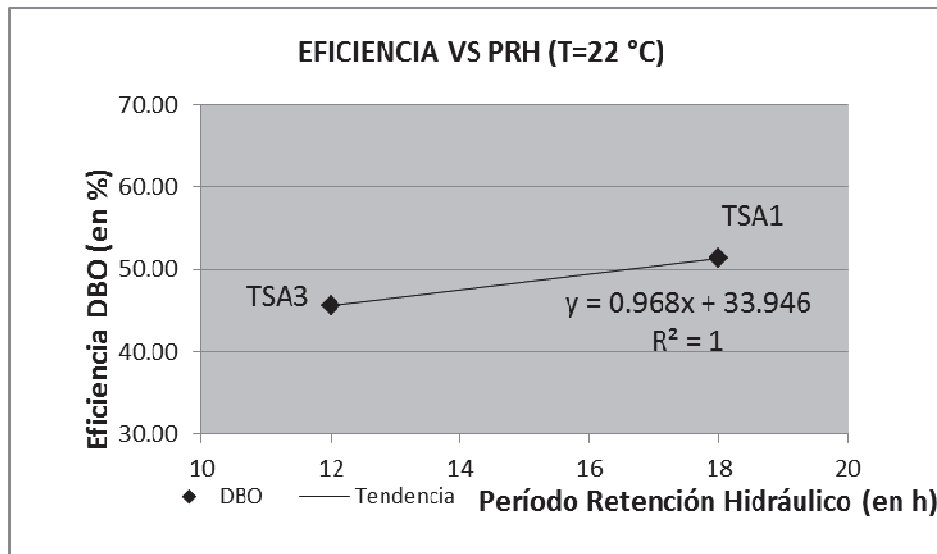


Gráfico 7. 52: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 20 de agosto del 2010.

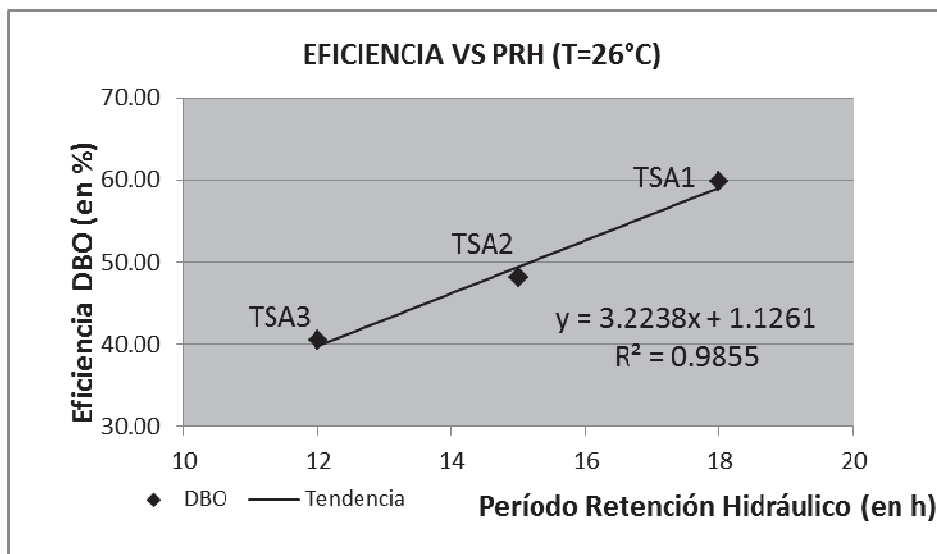


Gráfico 7. 53: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 10 de setiembre del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

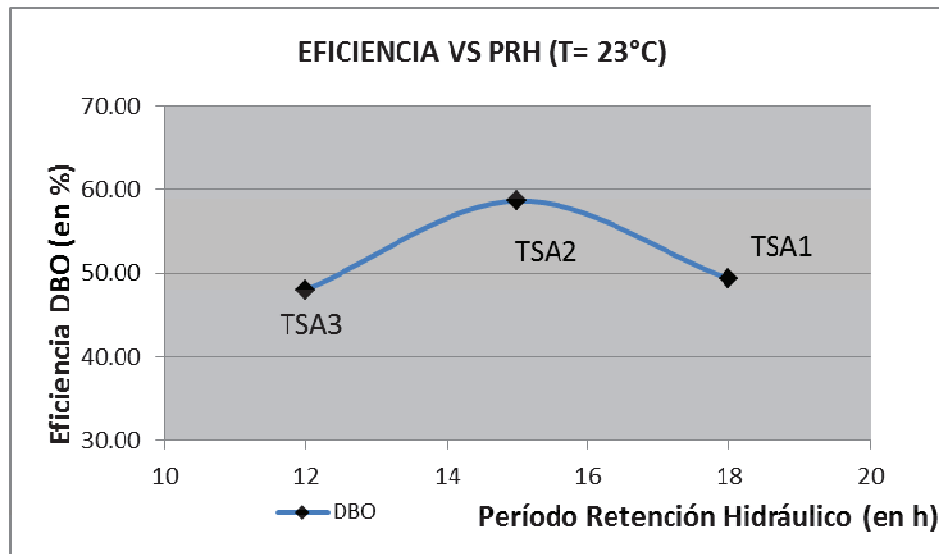


Gráfico 7. 54: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 15 de setiembre del 2010.

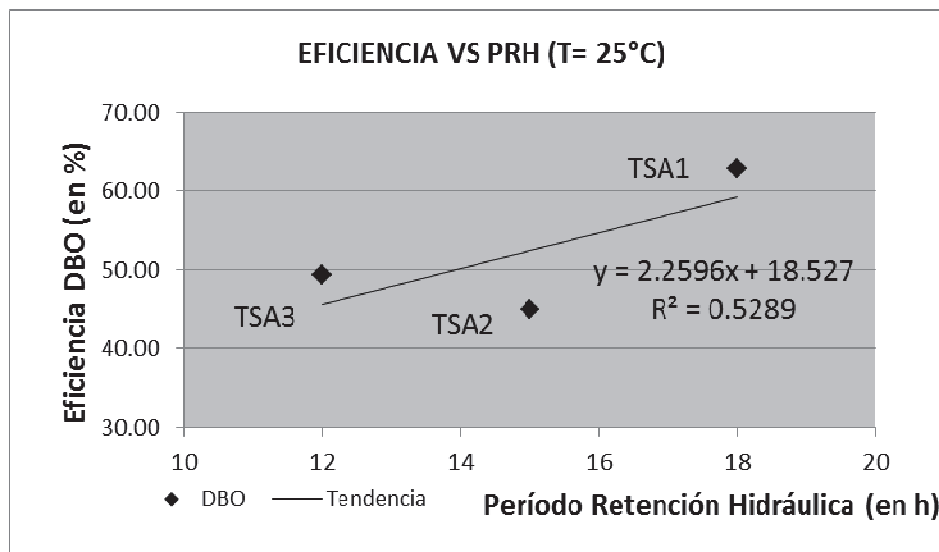


Gráfico 7. 55: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 07 de octubre del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

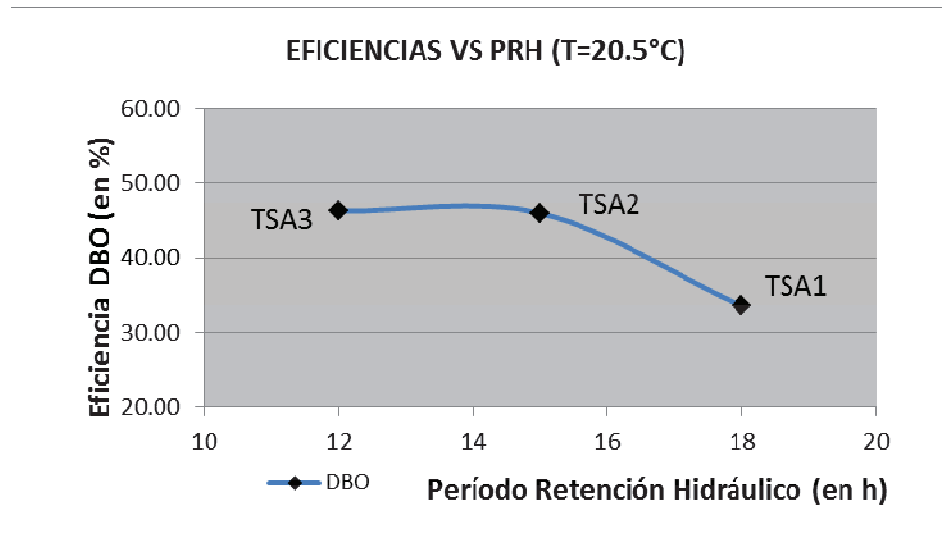


Gráfico 7. 56: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 08 de octubre del 2010.

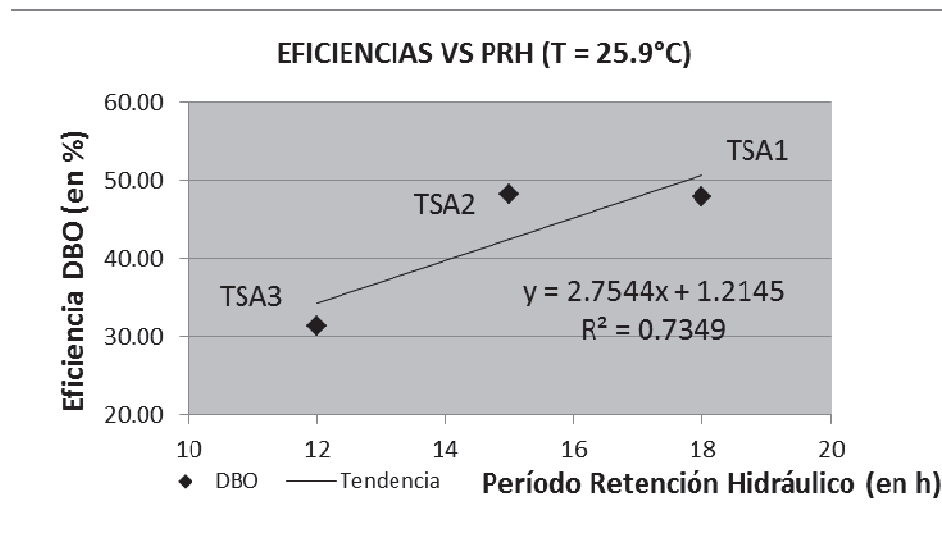


Gráfico 7. 57: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 15 de octubre del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

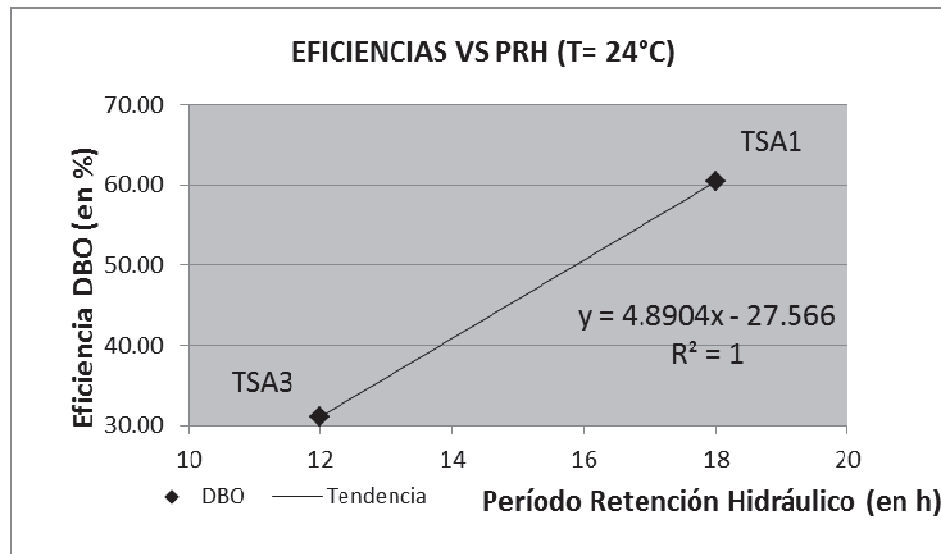


Gráfico 7. 58: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 20 de octubre del 2010.

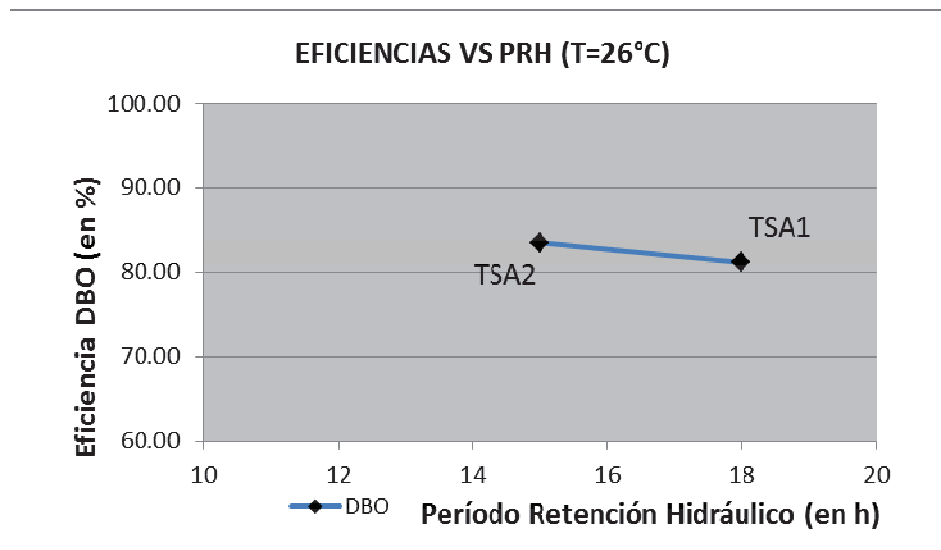


Gráfico 7. 59: Relación entre la eficiencia de remoción de DBO vs. Tiempo de Retención Hidráulico correspondiente al muestreo del 02 de noviembre del 2010.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.2.6 Tendencias Eficiencia remoción DBO vs. Período de Retención Hidráulico – del promedio.

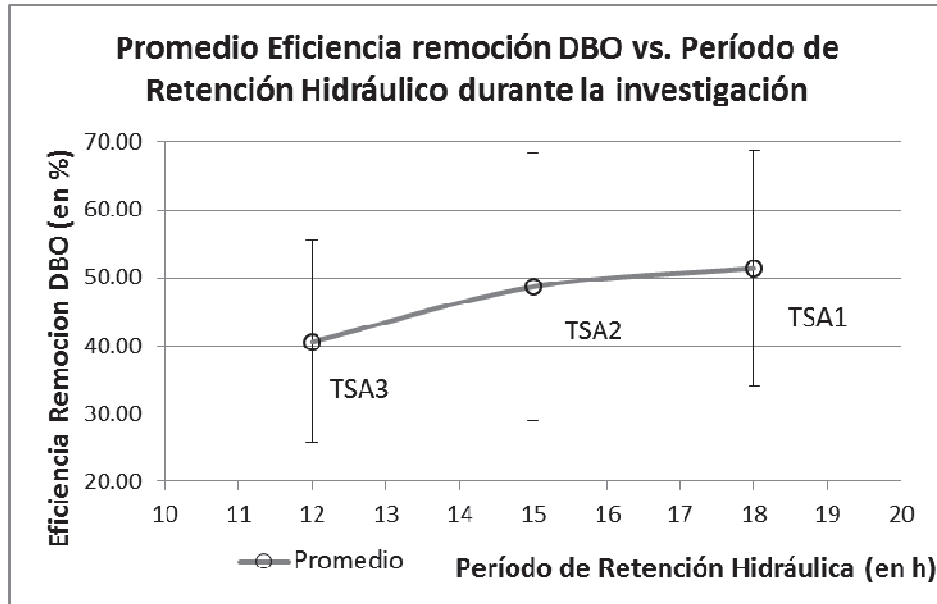


Gráfico 7. 60: Curva obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

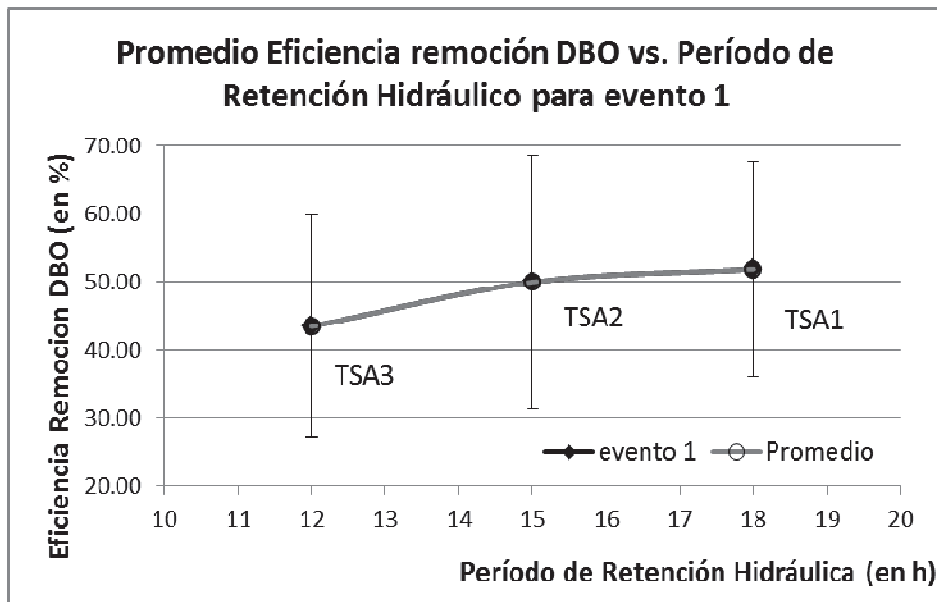


Gráfico 7. 61: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante el evento 1 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

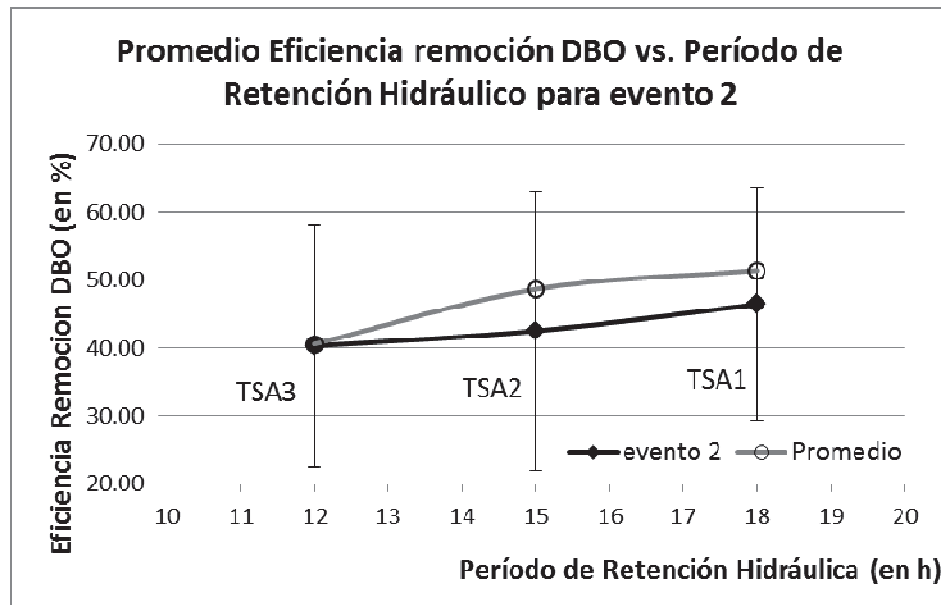


Gráfico 7. 62: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante el evento 2 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

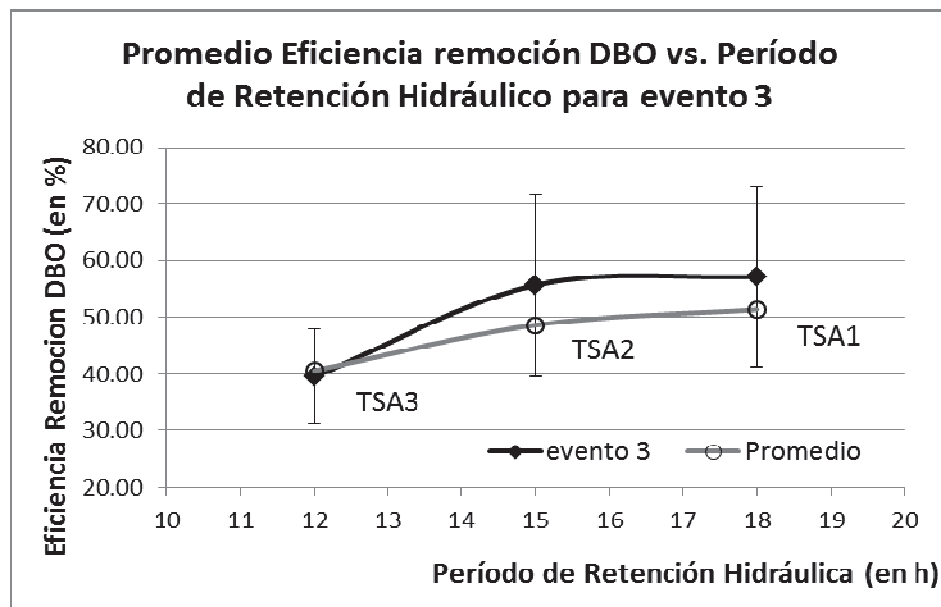


Gráfico 7. 63: Comparación entre las curvas obtenida del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante el evento 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

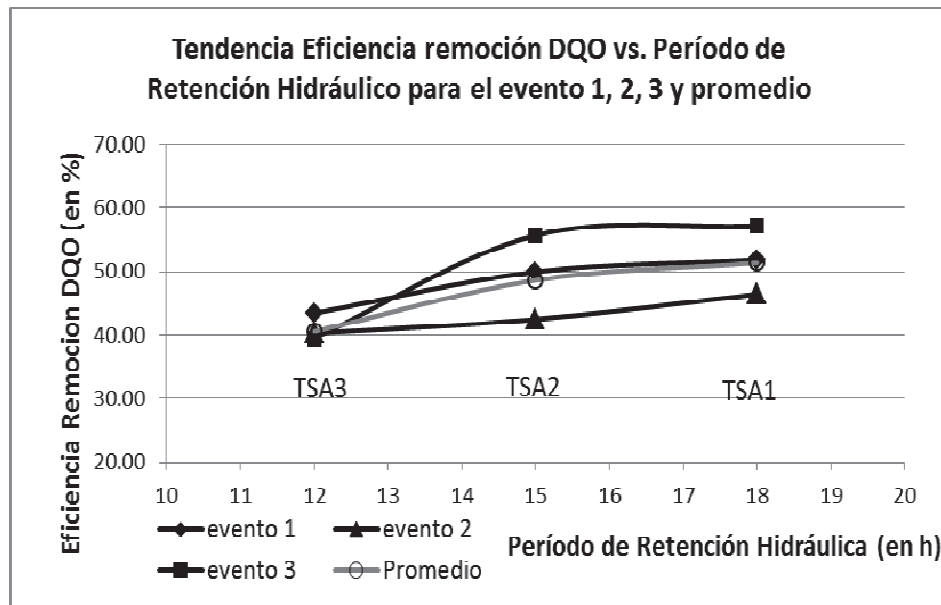


Gráfico 7. 64: Comparación entre las curvas obtenidas del promedio de la eficiencia de remoción de DBO durante los evento 1, 2 y 3 y la resultante de toda la investigación vs. Tiempo de Retención Hidráulico.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

7.3 TENDENCIAS DE RESULTADOS – LODOS DE REACTORES UASB SEPTIC TANK

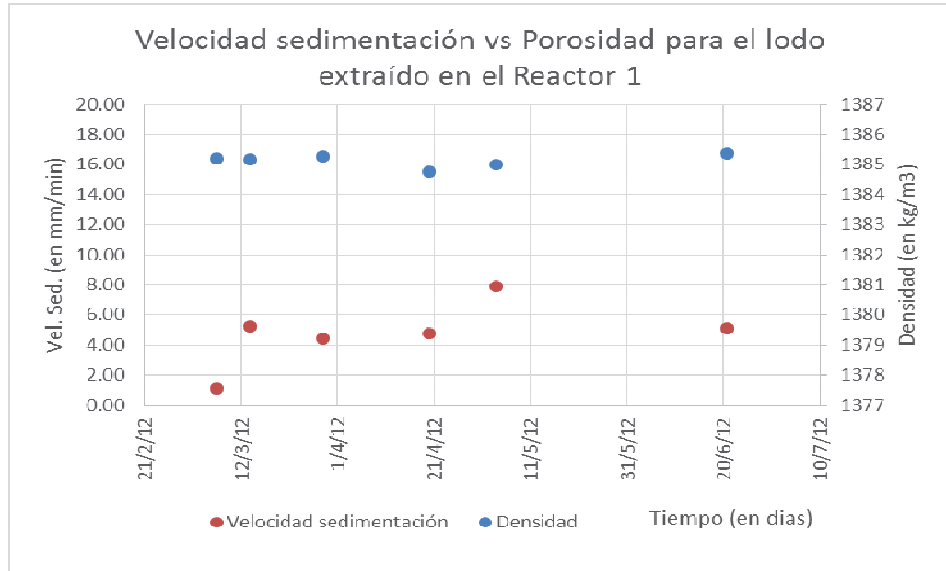


Gráfico 7. 65: Comparación de velocidad de sedimentación vs Porosidad del lodo del Reactor 1

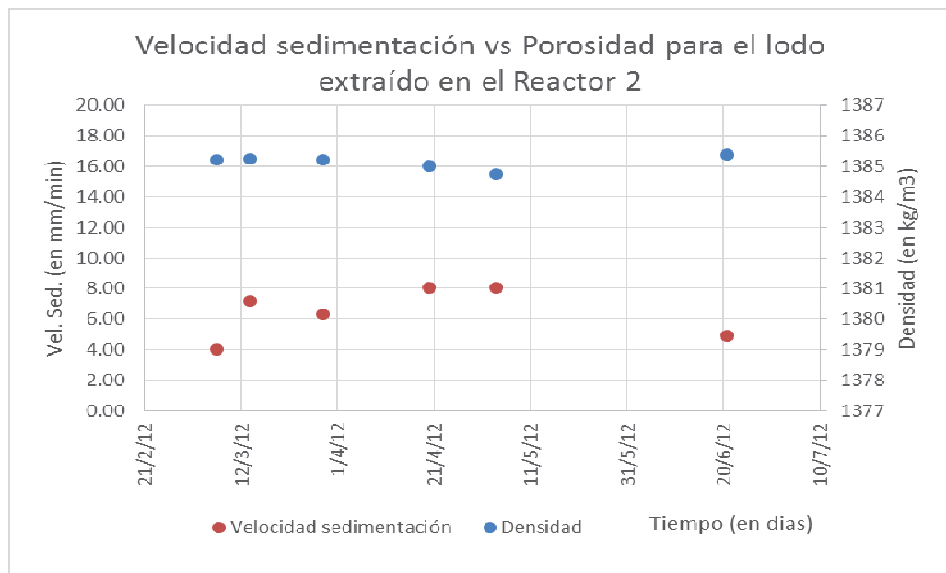


Gráfico 7. 66 : Comparación de velocidad de sedimentación vs Porosidad del lodo del Reactor 2

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

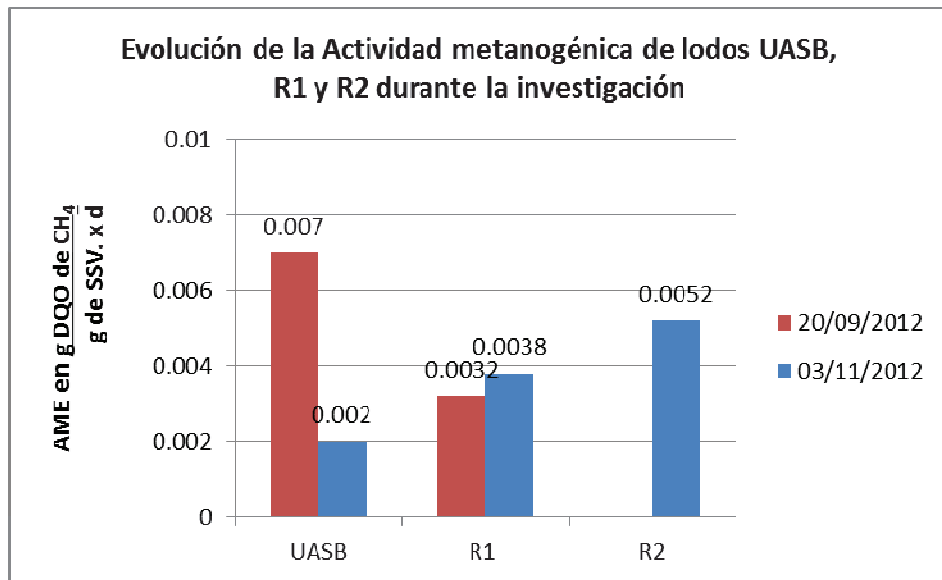


Gráfico 7. 67: Comparación del inicio y final del ame para cada reactor UASB, R1, R2

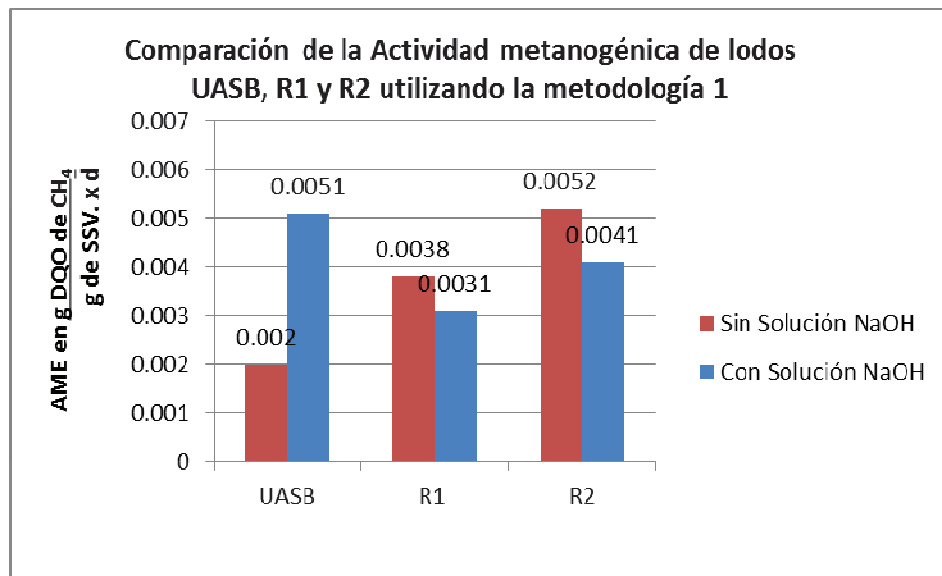


Gráfico 7. 68 : Comparación del inicio y final del AME para cada reactor UASB, R1, R2. Segunda fecha de realización de AME, calculado con metodología 1.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SÉPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

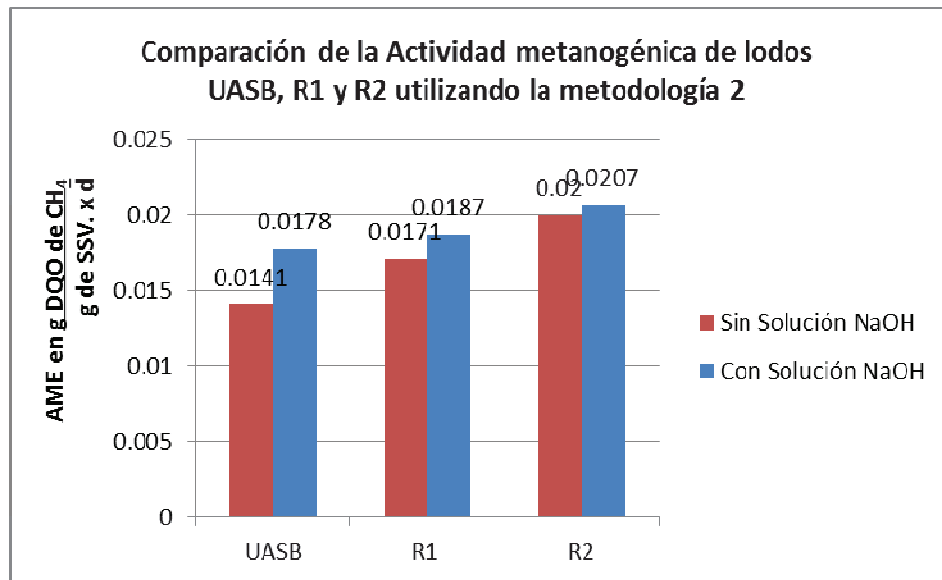


Gráfico 7. 69: Comparación del inicio y final del ame para cada reactor UASB, R1, R2 Segunda fecha de realización de AME, calculado con metodología 2.

CAPITULO VIII

8.1 CONCLUSIONES

1. TSA 1 (Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente cuyo periodo de retención hidráulico es 18 horas), TSA 2 (Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente cuyo periodo de retención hidráulico es 15 horas) y TSA 3 (Tanque Séptico Avanzado de Flujo Ascendente cuyo periodo de retención hidráulico es 12 horas) tienen una eficiencia promedio de 51.40%, 48.66% y 40.60% respectivamente. El TSA 1 con un PRH de 18 horas es el más eficiente en remoción de DBO.
2. TSA 1, TSA 2 y TSA 3 tienen una eficiencia promedio de 40.33%, 39.22% y 36.51% respectivamente. El TSA 1 con un PRH de 18 horas es el más eficiente en remoción de DQO.
3. Después de transcurridos 40 días de arranque el sistema TSA 1 se logró obtener eficiencias en promedio superior al 50%. Alcanzando un mínimo de 33.51% y un máximo de 81.15%. La operación del sistema de TSA duro 148 días y se tuvo diferentes condiciones de operación y mantenimiento.
4. El efluente del TSA1 tiene un valor de 142.35 mg/l antes que se contamine. La contaminación del efluente aumenta en un 221% la DBO alcanzando 315.03 mg/l. Luego la calidad del afluyente se mantienen en promedio a 223.92mg/l. Luego del mantenimiento del sistema (evento 4) la calidad del afluyente mejora alcanzando 85.47 mg/l.
5. Luego de la contaminación del afluyente por ingreso de petróleo (probablemente de una descarga informal) los TSA presentan una disminución en la eficiencia de remoción de DBO₅ y DQO, siendo el más perjudicado el TSA3 (DBO₅: De 27.06% a 7.18%, DQO: De 38.76% a 16.46%) y el menos perjudicado el TSA1 (DBO₅: De 35.95% a 13.28%, DQO: De 43.32% a 20.20%).
6. El TSA1 soporta cambios de carga orgánica sin variar considerablemente la calidad de su efluente.
7. La temperatura dentro del TSA1 se mantiene en promedio de 20.98 °C, del TSA2 en promedio de 20.93 °C y del TSA3 en promedio de 21.69 °C.

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

8. De todos los Sistemas TSA es el TSA3 (PRH=12 horas) logra la menor eficiencia en idénticas condiciones.
9. Los Coliformes Totales al ingreso del TSA1, TSA 2 y TSA3 es 9.2×10^8 NMP/100mL y los coliformes totales del efluente del TSA 1 es 1.6×10^8 NMP/100mL, del TSA 2 es 9.2×10^8 NMP/100mL y del TSA 3 es 1.6×10^8 NMP/100mL. Los Coliformes Termotolerantes al ingreso del TSA1, TSA 2 y TSA3 es 3.5×10^6 NMP/100mL y los coliformes termotolerantes del efluente del TSA 1 es 1.6×10^7 NMP/100mL, del TSA 2 es 1.6×10^7 NMP/100mL y del TSA 3 es 9.2×10^6 NMP/100mL. 7.9. No se observa remoción de coliformes totales y termotolerantes.
10. El lodo presente en el TSA 3 presenta mayor velocidad de sedimentación en comparación con el TSA 2 y TSA 1. La velocidad de sedimentación del TSA 3 es 16.66 veces la de TSA1 la velocidad de sedimentación del TSA 2. Y la velocidad de sedimentación del TSA 2 es 1.78 veces la velocidad de sedimentación del TSA 1.
11. A mismas condiciones de carga orgánica y velocidad ascensional se puede obtener diferentes velocidades de sedimentación del lodo. A mayor PRH se obtuvo una menor velocidad de sedimentación del lodo para los TSA ubicados en PTAR-Carapongo.
12. Para los reactores 1 y 2 (R1 y R2) ubicados en CITRAR-UNI no se puede concluir a que PRH se obtiene la mayor velocidad de sedimentación.
13. Para R1 y R2 se observa que la velocidad de sedimentación es inversamente proporcional a la densidad obtenida del lodo para una temperatura variable, la temperatura promedio es $21.65 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura máxima de $24.17 \text{ }^\circ\text{C}$ y temperatura mínima de $17.56 \text{ }^\circ\text{C}$. En R1 se obtiene una densidad promedio de 1385.11 kg/m^3 . En R2 se obtiene una densidad promedio de 1385.13 kg/m^3 .
14. Actividad metanogénica de lodos (AME) de los Reactores R1 y R2 es superior al encontrado en el UASB ubicado en CITRAR-UNI. R2 presenta $0.0052 \text{ g DQO de CH}_4/\text{ g de SSV. x d}$ y R1 en promedio $0.0035 \text{ g DQO de CH}_4/\text{ g de SSV. x d}$.
15. Haciendo uso del principio de balance de masa se calcula la AME con la siguiente formula: $AME = [(DQO\ inicial - DQO\ final) / (SSV\ inicial - SSV$

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

final)x *tiempo*], obteniéndose resultados mayores de actividad metanogénica de lodos (AME)

8.2 RECOMENDACIONES

1. Un retiro de lodo y un mantenimiento adecuado del TSA1 ayuda a mejorar la eficiencia del tratamiento.
2. Para medir la altura del lodo se tiene que desmontar el separador de fases, y parar la alimentación continua, por ello se recomienda un muestreador con válvula de pie para la medición de la altura de lodo.
3. De acuerdo el diseño del piloto la tapa del TSA es removible, no logrando hermeticidad del separador de fases al medidor de gas (mariotte).
4. El tanque de almacenamiento permite tener una alimentación continua y constante.
5. El uso de material de PVC se recomienda por: evita la formación de algas, es resistente, económico en comparación con otros materiales.
6. La prueba Actividad Metanogénica de Lodo debe realizarse en un lugar aislado, los frascos que contiene lodo deben estar aislados con plástico negro. Se debe realizar una prueba hidráulica antes del funcionamiento para evitar fugas.
7. Realización de un programa de monitoreo y mantenimiento.
8. Dilución de lodo al 10% para el análisis de solidos del lodo.

CAPITULO IX

FUENTES DE INFORMACION

- **RON CRITES, GEORGE TCHOBANOGLIOUS**, Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones, Santa Fe de Bogotá, Colombia, 2000.
- **JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS**, Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño, Colombia, 2005.
- **METCALF & EDDY**, Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización, Madrid, España, 1995, Tercera Edición.
- **MANAL ALI, RASHED AL-SA'ED, NIDAL MAHMOUD** , Start-up phase assessment of a uasb–septic tank system treating domestic septage, *the Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 32, Number 1 C*
- **TAREK ELMITWALLI, HAMED ELMASHAD, ADRIAAN MELS, GRIETJE ZEEMAN**, Sustainable Treatment of Waste(water) in Rural Areas of Egypt, *actualizado a (26-08-09)*
- **WAFAL-JAMAL, NIDAL MAHMOUD**, Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank, *Bioresource Technology 100 (2009) 1061–1068*
- **KATARZYNA KUJAWA-ROELEVELD1, GRIETJE ZEEMAN**, Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology (2006) 5:115–139*
- **SARI LUOSTARINEN**, Anaerobic On-Site Wastewater Treatment at Low Temperatures, *JYVASKYLA STUDIES IN BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2005*
- **GRIETJE ZEEMAN**, Water Treatment Anaerobic Wastewater Treatment, *Lectures Notes, Wageningen University*
- **SARI LUOSTARINEN, WENDY SANDERS, KATARZYNA KUJAWA-ROELEVELD, GRIETJE ZEEMAN**, Effect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems, *available online at www.sciencedirect.com, actualizado a (26-08-09)*
- **LUOSTARINEN, RINTALA**, Anaerobic on-site treatment of kitchen waste in combination with black water in UASB-

TESIS: ESTUDIO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DEL COLECTOR HUAYCAN MEDIANTE TANQUE SEPTICO AVANZADO DE FLUJO ASCENDENTE (TSA) A ESCALA PILOTO

septic tanks at low temperatures, available online at www.sciencedirect.com, actualizado a (26-08-09)

- **NURIA MARTÍ ORTEGA**, Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process, Florida, USA, 2002,