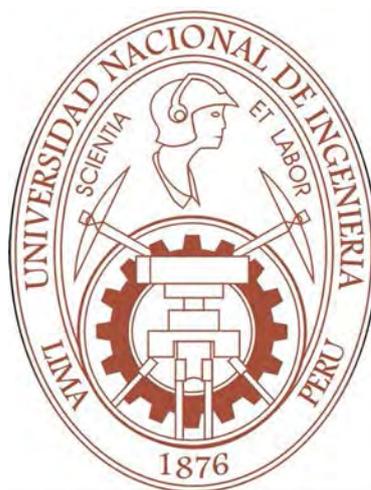


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA EN
UN REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE
FLUJO ASCENDENTE CON DIGESTOR DE LODOS
APLICADO A UNA LOCALIDAD UBICADO A UNA ALTITUD
DE 3800 msnm”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

QUISPE LIVISI, JUAN ALONSO

LIMA, PERÚ

2014

DEDICATORIA:

A mis padres: Felipe Quispe Mamani y Luz Gloria Livisi Mayta, a mis hermanos Marcel, Lilian, Midward por su comprensión y apoyo en los momentos difíciles.

Al departamento de Puno y a su maravilloso Titicaca "Lago Sagrado de los Incas".

AGRADECIMIENTOS:

A la Msc. Ing. Rosa Elena Yaya Beas, por brindar su apoyo incondicional durante toda la investigación de la tesis y al Ing. Juan Alejandro Moreno Oscanoa, por sus consejos acertados durante la investigación de la tesis.

Al Ing. Victor Francisco Yupanqui Medrano, por su asesoría y guía en puntos clave para comprender a profundidad la investigación.

A mis compañeros de la UNI, Miguel Quiroz, Elías Gomero, Christian Ayala, por su ayuda en el desarrollo de la tesis.

Al Ing. Juan Narciso, Ing. María Quevedo, Ing. Fernando Bravo, Bióloga Anyela Paredes y amigos Nico Keller, Manuel Romero, Ramses Huaman, Royer Palomino, Ruth Cáceres, Karen Cutipa, Noelia Chaiña y a todas las personas que me apoyaron durante el desarrollo de la tesis en el departamento de Puno.

RESUMEN:

En la presente tesis de investigación se estudió un nuevo sistema de tratamiento primario para aguas residuales domésticas, propone utilizar el “Reactor anaeróbico de manto de lodos de flujo ascendente con digestor de lodos”, en adelante reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanquet)-Digestor, aplicado a la remoción de carga orgánica.

El sistema diseñado a escala piloto, fue investigado para las aguas residuales de la ciudad de Puno, se llevó muestra desde un buzón de la PTAR-Espinar hasta el lugar de investigación, con previo paso del agua residual por un tratamiento preliminar (cámara de reja gruesa y desarenador).

La investigación se divide en tres partes: etapa 1, etapa 2 y etapa 3. La etapa 1 consistió en lograr estabilizar lodo anaerobio para el reactor UASB-Digestor y condiciones de operación óptimas para el digestor. La etapa 2, se investigó tiempo de retención hidráulico (TRH): 4-6-8-10-12-14 horas para el reactor UASB y TRH constante de 10 días para el digestor. En la etapa 3 el reactor UASB con 12 horas de TRH y para el digestor 20 días de TRH.

De los parámetros fisicoquímicos evaluados, para la etapa 2, la mejor eficiencia se logró para 12 horas de TRH para el reactor UASB, con porcentajes promedios de remoción de 52% de carga orgánica, 79% de turbiedad, 76% sólidos suspendidos totales, 52% DQO total, 57% DBO_5 , la producción de gas metano promedio para el reactor UASB es 1179 ml/día y para el digestor 961.2 ml/día. Para la etapa 3 se obtuvo en promedio porcentajes de remoción de 51% de carga orgánica, 72% de turbiedad, 67.4% sólidos suspendidos totales, 51% DQO total, la producción de gas metano 1372.6 ml/día para el reactor UASB y para el digestor 1528.8 ml/día.

El tratamiento primario reactor UASB-Digestor es una alternativa para remover la carga orgánica y sólidos suspendidos totales, aplicado a localidades ubicados a una altitud de 3800 msnm, el diseño se optimizó para un TRH de 12 horas para el reactor UASB y para el digestor 14.4 días de TRH.

ÍNDICE

DEDICATORIA:	II
AGRADECIMIENTOS:	III
RESUMEN:	IV
ÍNDICE	V
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2	2
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	2
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
2.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	4
2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS	4
2.4 HIPÓTESIS.....	5
2.5 VARIABLES DE ESTUDIO.....	5
2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES	5
2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES	5
2.5.3 VARIABLES INTERVINIENTES.....	6
2.5.4 PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESO	6
2.6 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	8
2.7 MARCO LEGAL	11
2.7.1 ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ....	11
2.7.2 ENTIDADES INVOLUCRADAS	13
CAPÍTULO 3	14
ANTECEDENTES	14
3.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	14
3.2 TRATAMIENTO CON REACTORES UASB A BAJAS TEMPERATURAS	15

3.2.1	REACTORES UASB MODIFICADOS A BAJAS TEMPERATURAS .	16
3.2.2	EFICIENCIA DE REACTORES UASB MODIFICADOS A BAJAS TEMPERATURAS	18
3.3	EXPERIENCIAS DE INVESTIGACIÓN PARA REACTOR UASB - DIGESTOR	19
CAPÍTULO 4	.....	26
MARCO TEÓRICO	.....	26
4.1	TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	26
4.2	TRATAMIENTO ANAEROBIO.....	28
4.2.1	SISTEMA DE CARGA ORGÁNICA BAJA.....	28
4.2.2	SISTEMA DE CARGA ORGÁNICA ALTA.....	29
4.2.3	REACTOR UASB.....	31
4.3	PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIO EN REACTOR UASB	32
4.3.1	FACTORES DE INFLUENCIA EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA	35
4.4	PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN REACTOR UASB	37
4.4.1	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE CAUDAL Y CARGA ORGÁNICA	37
4.4.2	INFLUENCIA DE TEMPERATURA.....	37
4.4.3	VELOCIDAD DE FLUJO ASCENDENTE	38
4.4.4	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)	38
4.4.5	TIEMPO DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS (TRS)	39
4.5	OTROS TIPOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	40
4.5.1	TANQUES IMHOFF	41
4.5.2	LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	42
4.5.3	LAGUNAS AIREADAS.....	44
4.5.4	LAGUNAS ANAEROBIAS.....	45
4.5.5	FILTROS PERCOLADORES	46
4.5.6	LODOS ACTIVADOS.....	47
CAPÍTULO 5	.....	49
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	.....	49
5.1	UBICACIÓN DEL SISTEMA	49
5.2	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	49

5.3	MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA	56
5.4	DISEÑO DEL REACTOR UASB	58
5.4.1	TIEMPO DE RETENCIÓN	58
5.4.2	CAUDALES DE DISEÑO	60
5.5	DISEÑO DEL DIGESTOR DE LODOS	62
5.6	COMPONENTES ADICIONALES AL REACTOR UASB-DIGESTOR	62
5.6.1	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	62
5.6.2	CALENTAMIENTO PARA EL DIGESTOR DE LODOS	65
5.7	PUNTO DE MUESTREO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	65
5.8	DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO	67
5.9	PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL	68
5.10	CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL	68
5.11	PARÁMETROS EVALUADOS	70
5.11.1	TEMPERATURA AMBIENTAL	70
5.11.2	TEMPERATURA EN REACTOR UASB-DIGESTOR	70
5.11.3	pH	71
5.11.4	TURBIEDAD	72
5.11.5	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	73
5.11.6	SÓLIDOS TOTALES, SVT, SDT	74
5.11.7	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	76
5.11.8	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)	77
5.11.9	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	78
5.11.10	PRODUCCIÓN DE GAS METANO	79
5.11.11	ALTURA DE LODO	81
5.12	PERIODICIDAD DE ANÁLISIS MONITOREADOS	81
5.13	PERÍODOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	84
5.14	OPTIMIZACIÓN DE COMPONENTES ETAPA 1	85
5.14.1	OPTIMIZACIÓN DE TRANSPORTE DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	85
5.14.2	OPTIMIZACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA	86
5.14.3	ARRANQUE Y OPTIMIZACIÓN DE REACTOR UASB-DIGESTOR	87

5.14.4 OPTIMIZACIÓN DE CALENTAMIENTO PARA DIGESTOR DE LODOS.....	96
5.15 OPTIMIZACIÓN DE COMPONENTES ETAPA 2.....	98
5.16 TÉCNICAS DE MUESTREO	99
CAPÍTULO 6	101
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	101
6.1 RESULTADOS POR SEMANA	101
6.2 RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO	130
6.2.1 PARÁMETROS EVALUADOS	130
A) TEMPERATURA AMBIENTAL	130
B) TEMPERATURA EN PUNTO DE MUESTREO	131
C) pH.....	138
D) TURBIEDAD	140
E) SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	143
F) SÓLIDOS TOTALES	146
G) SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.....	148
H) SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES.....	150
I) SÓLIDOS SEDIMENTABLES.....	150
J) DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5).....	152
k) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL	153
L) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE.....	154
M) PRODUCCIÓN DE GAS METANO.....	154
N) ALTURA DE LODO.....	156
O) CARGA ORGÁNICA.....	162
6.3 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS	162
CAPÍTULO 7	165
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	165
7.1 PARÁMETROS EVALUADOS	165
7.1.1 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN PUNTOS MONITOREADOS	165
7.1.2 pH.....	167
7.1.3 TURBIEDAD	169

7.1.4	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	170
7.1.5	SÓLIDOS TOTALES.....	172
7.1.6	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.....	172
7.1.7	SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES	173
7.1.8	SÓLIDOS SEDIMENTABLES	174
7.1.9	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	174
7.1.10	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL	177
7.1.11	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE	179
7.1.11	PRODUCCIÓN DE GAS METANO EN UASB Y DIGESTOR.....	181
7.1.12	ALTURA DE LODO.....	186
7.1.12	CARGA ORGÁNICA	189
7.2	SELECCIÓN DE TRH PARA REACTOR UASB Y BALANCE DE MASA DQO.....	191
7.3	SELECCIÓN DE TRH PARA EL DIGESTOR DE LODOS Y VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS.....	199
7.4	PARÁMETROS DE DISEÑO REACTOR UASB-DIGESTOR Y ASPECTOS POR INVESTIGAR.....	208
7.5	ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PRIMARIO OPTIMIZADO REACTOR UASB-DIGESTOR PARA PUNO.....	210
7.6	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	211
CAPÍTULO 8	.....	214
CONCLUSIONES	.....	214
CAPÍTULO 9	.....	219
RECOMENDACIONES	.....	219
CAPÍTULO 10	.....	222
BIBLIOGRAFÍA	.....	222
CAPÍTULO 11	.....	226
ANEXOS	.....	226
11.1	ANEXO N° 1: MARCO LEGAL	226
11.2	ANEXO N° 2: PANEL FOTOGRÁFICO	254
11.3	ANEXO N° 3: IMÁGENES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	261

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 3.1: EXPERIENCIA A BAJAS TEMPERATURAS PARA REACTORES UASB.....	18
CUADRO N° 3.2: CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE DE DESAGÜE (BENNEKOM – HOLANDA).....	20
CUADRO N° 3.3: EFICIENCIA DE REMOCIÓN REACTOR UASB Y UASB-DIGESTOR	21
CUADRO N° 3.4: EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN UASB Y UASB-DIGESTOR EN PALESTINA	22
CUADRO N° 3.5: CONDICIONES DE OPERACIÓN UASB-DIGESTOR	24
CUADRO N° 3.6: VALORES MEDIOS DE TRATAMIENTO DE REACTOR UASB-DIGESTOR.....	25
CUADRO N° 4.1: PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	26
CUADRO N° 4.2: PRINCIPALES PARÁMETROS DE DISEÑO PARA REACTOR UASB	31
CUADRO N° 4.3: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TRATAMIENTO ANAEROBIO... 33	
CUADRO N° 4.4 INVENTARIO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	41
CUADRO N°4.5: CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE SOPORTE	47
CUADRO N°5.1: TIEMPOS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA A INVESTIGAR.....	59
CUADRO N° 5.2: RESUMEN DE MEDIDAS DEL REACTOR UASB A ESCALA PILOTO	60
CUADRO N° 5.3: TRH Y CAUDAL DE OPERACIÓN A INVESTIGAR.....	60
CUADRO N° 5.4: DIMENSIONES DEL DIGESTOR DE LODOS A ESCALA PILOTO ...	62
CUADRO N° 5.5: MONITOREOS REALIZADOS	69
CUADRO N° 5. 6: PERÍODOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	84
CUADRO N° 5.7: IMPLEMENTACIÓN DE LA ETAPA 1 DE REACTOR UASB-DIGESTOR.....	85
CUADRO N°5.8: CONDICIONES DE OPERACIÓN 31 DE DICIEMBRE 2012	89

CUADRO N°5.9: CONDICIONES DE OPERACIÓN 04 DE ENERO 2013	91
CUADRO N° 5.10: CONDICIONES DE OPERACIÓN 10 DE ENERO 2013	91
CUADRO N°5.11: CONDICIONES DE OPERACIÓN 20 DE ENERO 2013	92
CUADRO N°5.12: CONDICIONES DE OPERACIÓN 25 DE ENERO 2013	93
CUADRO N°5.13: CONDICIONES DE OPERACIÓN 30 DE ENERO 2013	93
CUADRO N°5.14: CONDICIONES DE OPERACIÓN 11 DE FEBRERO 2013.....	94
CUADRO N°5.15: CONDICIONES DE OPERACIÓN 6 DE MARZO 2013	94
CUADRO N°5.16: CONDICIONES DE OPERACIÓN 14 DE MARZO 2013	95
CUADRO N° 5.17: ALTURA DE LODO INCREMENTADO AL 14/03/2013-SEMANA 9 .	95
CUADRO N° 5.18: CONDICIONES PARA LA ETAPA 2-SEMANA 13	96
CUADRO N° 5.19: ALTURA DE RECIRCULACIÓN UASB-DIGESTOR	96
CUADRO N° 5.20: OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	98
CUADRO N° 6.1: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 1	102
CUADRO N° 6.2: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 2	103
CUADRO N° 6.3: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 3	104
CUADRO N° 6.4: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 4	105
CUADRO N° 6.5: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 5	106
CUADRO N° 6.6: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 6	107
CUADRO N° 6.7: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 7	108
CUADRO N° 6.8: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 8	109
CUADRO N° 6.9: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 9	110
CUADRO N° 6.10: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 10	111
CUADRO N° 6.11: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 11	112
CUADRO N° 6.12: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 12	113
CUADRO N° 6.13: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 13	114
CUADRO N° 6.14: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 14	115
CUADRO N° 6.15: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 15	116
CUADRO N° 6.16: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 16	117

CUADRO N° 6.17: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 17	118
CUADRO N° 6.18: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 18	119
CUADRO N° 6.19: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 19	120
CUADRO N° 6.20: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 20	121
CUADRO N° 6.21: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 21	122
CUADRO N° 6.22: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 22	123
CUADRO N° 6.23: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 23	124
CUADRO N° 6.24: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 24	125
CUADRO N° 6.25: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 25	126
CUADRO N° 6.26: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA SEMANA 26	127
CUADRO N° 6.27: OPERACIÓN DEL REACTOR UASB-DIGESTOR - I.....	128
CUADRO N° 6.28: OPERACIÓN DEL REACTOR UASB-DIGESTOR - II.....	129
CUADRO N° 6.29: CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS EN LA INVESTIGACIÓN	131
CUADRO N° 6.30: EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN UASB - ETAPA 1	163
CUADRO N° 6.31: EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN UASB - ETAPA 2 Y ETAPA 3...	164
CUADRO N° 7.1: EFICIENCIA DE REMOCIÓN CARGA ORGÁNICA EN REACTOR UASB-DIGESTOR	192
CUADRO N° 7.2 CONSTANTE DE HENRY PARA EL METANO.....	196
CUADRO N° 7.3: SOLUBILIDAD DE METANO EN AGUA.....	197
CUADRO N° 7.4: UASB-DIGESTOR PARA TRH (UASB)=12 HORAS TRH (DIGESTOR)=10DÍAS	200
CUADRO N° 7.5: UASB-DIGESTOR PARA TRH (UASB)=12 HORAS TRH (DIGESTOR)=20DÍAS	201
CUADRO N° 7.6: RESUMEN DE OPERACIONES EN EL DIGESTOR DE LODOS.....	203
CUADRO N° 7.7: RESUMEN DE OPERACIONES EN EL DIGESTOR DE LODOS.....	204
CUADRO N° 7.8: SELECCIÓN DEL VOLUMEN DIGESTOR DE LODOS	207
CUADRO N° 7.9: CARACTERÍSTICAS DE UN TRATAMIENTO PRIMARIO OPTIMIZADO PARA CONDICIONES CLIMÁTICAS DE BAJAS TEMPERATURAS "REACTOR UASB-DIGESTOR"	208

CUADRO N° 7.10: CARACTERÍSTICAS ACTUAL Y PROYECTADO AL AÑO 2033 RESPECTO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PUNO	210
CUADRO N° 7.11: VENTAJAS RESPECTO AL ÁREA OCUPADA POR TRATAMIENTO PRIMARIO OPTIMIZADO UASB-DIGESTOR.....	211
CUADRO N° 7.12: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE REACTOR UASB-DIGESTOR	213
CUADRO N° 11.1: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL - CATEGORIA 3	230
CUADRO N° 11.2: LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES PARA EFLUENTES DE UNA PTAR.....	232
CUADRO N° 11.3: CARACTERÍSTICAS DEL MANTO DE LODO DEL REACTOR UASB DURANTE LA INVESTIGACIÓN	262
CUADRO N° 11.4: PRUEBA DE SEDIMENTACIÓN DE LODO REACTOR UASB Y DIGESTOR DE LODOS AL FINALIZAR LA SEMANA 26	266
CUADRO N° 11.5: RESULTADOS DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA TRATADA CON EL REACTOR UASB-DIGESTOR	268

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 5.1: DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SÓLIDOS.....	76
GRÁFICO N° 6.1: TEMPERATURA AMBIENTAL (°C) VS TIEMPO ACUMULADO(DÍAS)	130
GRÁFICO N° 6.2: TEMPERATURA AMBIENTAL PROMEDIO (°C) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	132
GRÁFICO N° 6.3: TEMPERATURA PTO A (°C) VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS) ...	133
GRÁFICO N° 6.4: TEMPERATURA PROMEDIO EN PTO A (°C) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	134
GRÁFICO N° 6.5: TEMPERATURA PTO C (°C) VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS) ...	134
GRÁFICO N° 6.6: TEMPERATURA PROMEDIO EN PTO C (°C) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	135
GRÁFICO N° 6.7: TEMPERATURA PTO D (°C) VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS) ...	136
GRÁFICO N° 6.8: TEMPERATURA PROMEDIO EN PTO D (°C) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	136
GRÁFICO N° 6.9: TEMPERATURA PTO E(°C) VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS)	137
GRÁFICO N° 6.10: TEMPERATURA PROMEDIO EN PTO E(°C) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	138
GRÁFICO N° 6.11: POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH) VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS).....	139
GRÁFICO N° 6.12: POTENCIAL DE HIDRÓGENO PROMEDIO (PH) VS TIEMPO ACUMULADO(SEMANAS).....	140
GRÁFICO N° 6.13: TURBIEDAD (NTU) VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS)	141
GRÁFICO N° 6.14: TURBIEDAD PROMEDIO (NTU) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)-1	142
GRÁFICO N° 6.15: TURBIEDAD PROMEDIO (NTU) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)-2	143
GRÁFICO N° 6.16: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (MG/L) VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS)	144
GRÁFICO N° 6.17: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES PROMEDIO (MG/L) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)-1	145

GRÁFICO N° 6.18: SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES PROMEDIO (MG/L) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)-2	146
GRÁFICO N° 6.19: SÓLIDOS TOTALES EN PTO A VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	147
GRÁFICO N° 6.20: SÓLIDOS TOTALES EN PTO B VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	148
GRÁFICO N° 6.21: SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN PTO A VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	149
GRÁFICO N° 6.22: SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES EN PTO B VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	149
GRÁFICO N° 6.23: SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES EN PTO A VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	150
GRÁFICO N° 6.24: SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES EN PTO B VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	151
GRAFICO N° 6.25: SÓLIDOS SEDIMENTABLES (ML/L/H) EN PTO A Y PTO B VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	151
GRÁFICO N° 6.26: DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (MG/L) EN PTO A Y PTO B VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	152
GRÁFICO N° 6.27: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (MG/L) EN PTO A Y PTO B VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	153
GRÁFICO N° 6.28: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE (MG/L) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	155
GRÁFICO N° 6.29: PRODUCCIÓN DE GAS METANO (ML/DÍA) EN PTO F Y PTO G VS TIEMPO ACUMULADO (DÍAS).....	156
GRÁFICO N° 6.30: PRODUCCIÓN DE GAS METANO (ML/DÍA) PROMEDIO EN PTO F Y PTO G VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	157
GRÁFICO N° 6.31: ALTURA DE LODO UASB (CM) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	157
GRÁFICO N° 6.32: VOLUMEN DE LODO EN REACTOR UASB(LITROS) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)-1	159
GRÁFICO N° 6.33: VOLUMEN DE LODO EN REACTOR UASB(LITROS) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)-2	160

GRÁFICO N° 6.34: ALTURA DE LODO DIGESTOR DE LODOS (CM) VS TIEMPO ACUMULADO(SEMANAS)	161
GRÁFICO N° 6.35: VOLUMEN DE LODO EN DIGESTOR DE LODOS (LITROS) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	161
GRÁFICO N° 6.36: CARGA ORGÁNICA EN PTO A Y PTO B(G DQO/DÍA) VS TIEMPO ACUMULADO(SEMANAS)	162
GRÁFICO N° 7.1: RELACIÓN DE TEMPERATURAS PROMEDIO AMBIENTAL, PTOA, PTOC, PTOD, PTOE-ETAPA 1 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	166
GRÁFICO N° 7.2: RELACIÓN DE TEMPERATURAS PROMEDIO AMBIENTAL, PTOA, PTOC, PTOD, PTOE-ETAPA 2 Y 3 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	168
GRÁFICO N° 7.3: INFLUENCIA DEL PH EN MEDIO LÍQUIDO PTO A Y B VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	168
GRÁFICO N° 7.4: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD ETAPA 1 (%) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANA).....	169
GRÁFICO N° 7.5: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD (%) -ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	170
GRÁFICO N° 7.6: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES(%) - ETAPA 1 VS TIEMPO (SEMANA).....	171
GRÁFICO N° 7.7: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (%) ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	171
GRÁFICO N° 7.8: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS TOTALES (%) ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANA).....	172
GRÁFICO N° 7.9: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (%) ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANA)	173
GRÁFICO N° 7.10: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES (%) - ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS).....	174
GRÁFICO N° 7.11: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLE (%) - ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	175
GRÁFICO N° 7.12: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE	175
GRÁFICO N° 7.13: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DB05 (%) ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	176

GRÁFICO N° 7.14: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DBO5 (%) VS TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (HORAS).....	177
GRÁFICO N° 7.15: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO TOTAL (%) ETAPA 1 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	178
GRÁFICO N° 7.16: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO TOTAL (%) ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	178
GRÁFICO N° 7.17: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DQO TOTAL (%) VS TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (HORAS)	179
GRÁFICO N° 7.18: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO TOTAL (%) - ETAPA 1 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	180
GRÁFICO N° 7.19: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DQO SOLUBLE (%) ETAPA 2 VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	180
GRÁFICO N° 7.20: PRODUCCIÓN DE GAS METANO PROMEDIO EN REACTOR UASB(ML/DÍA) VS TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (HORAS).....	181
GRÁFICO N° 7.21: PRODUCCIÓN PROMEDIO DE GAS METANO EN REACTOR UASB (ML/DÍA) VS TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (HORAS) TRH=4-6-8-12-14	182
GRÁFICO N° 7.22: PRODUCCIÓN PROMEDIO DE GAS METANO EN REACTOR UASB (ML/DÍA) VS TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (HORAS) TRH=4-6-8....	183
GRÁFICO N° 7.23: PRODUCCIÓN PROMEDIO DE GAS METANO EN REACTOR UASB(ML/DÍA) VS ALTURA DE LODO PROMEDIO(M)	184
GRÁFICO N° 7.24: PRODUCCIÓN DE GAS METANO EN REACTOR UASB(ML/DÍA) VS DQO TOTAL PROMEDIO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN PTO A (MG/L).....	185
GRÁFICO N° 7.25: PRODUCCIÓN PROMEDIO DE GAS METANO EN REACTOR UASB(ML/DÍA) VS TEMPERATURA PROMEDIO DE AGUA RESIDUAL PTO A(°C) ..	185
GRÁFICO N° 7.26: PRODUCCIÓN PROMEDIO DE GAS METANO EN DIGESTOR (ML/DÍA) VS TEMPERATURA PROMEDIO EN DIGESTOR DE LODOS PTO C (°C)..	186
GRAFICO N° 7.27: ALTURA PROMEDIO DE LODO EN REACTOR UASB (M) VS VELOCIDAD ASCENSIONAL (M/H).....	187
GRÁFICO N° 7.28: VOLUMEN DE LODO EN REACTOR UASB (LITROS) VS VELOCIDAD ASCENSIONAL (M/H).....	188

GRÁFICO N° 7.29: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA(%) VS TIEMPO ACUMULADO (SEMANAS)	190
GRÁFICO N° 7.30: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA(%) VS TRH (HORAS)	190
GRÁFICO N° 7.31: VOLUMEN DE RECIRCULACIÓN EN UN DÍA / VOLUMEN DE LODO EN REACTOR UASB (%) VS TIEMPO (SEMANAS)	204
GRÁFICO N° 7.32: EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA (%) VS TRH EN DIGESTOR DE LODOS (DÍAS)	205
GRÁFICO N° 7.33: PORCENTAJE DE VOLUMEN DE LODO REEMPLAZADO EN REACTOR UASB (%) VS TRH EN DIGESTOR DE LODOS (DÍAS)	205

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°3.1: DISEÑO DE LOS PROCESOS MODIFICADOS PARA REACTOR UASB	17
FIGURA N°3.2: ESQUEMA DE REACTOR UASB-DIGESTOR DE LODOS	19
FIGURA N°3.3: ESQUEMA DE PLANTA PILOTO REACTOR UASB-DIGESTOR EN PALESTINA	22
FIGURA N°3.4: ESQUEMA DE PLANTA PILOTO REACTOR UASB-DIGESTOR EN SANTIAGO DE COMPOSTELA.	24
FIGURA N° 4.1: SISTEMAS ANAEROBIOS MODERNOS DE ALTA CARGA.....	30
FIGURA N° 4.2: REACTOR UASB	32
FIGURA N°4.3: ESQUEMA DE RUTA DE DEGRADACIÓN ANAEROBIA	35
FIGURA N° 4.4: VISTA TRANSVERSAL DE TANQUE IMHOFF	42
FIGURA N° 4.5: DIAGRAMA DE LAS INTERACCIONES EN UNA LAGUNA FACULTATIVA.....	43
FIGURA N° 4.6: LAGUNA AIREADA DE MEZCLA COMPLETA Y MEZCLA PARCIAL – PARA PTAR SAN BARTOLO LIMA.....	45
FIGURA N° 4.7: ESQUEMA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL FILTRO PERCOLADOR.....	47
FIGURA N° 4.8: SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS COMPLETAMENTE MEZCLADO	48
FIGURA N° 4.9: SISTEMA TÍPICO DE LODOS ACTIVADOS CON REACTOR FLUJO PISTÓN	48
FIGURA N° 5.1: DIAGRAMA DE FLUJO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EN LA PLANTA PILOTO REACTOR UASB-DIGESTOR	51
FIGURA N°5.2: ESQUEMA COMPLETO DEL REACTOR UASB-DIGESTOR Y SISTEMA DE CALENTAMIENTO.....	55
FIGURA N° 5.3: MATERIALES USADOS PARA INSTALAR EL REACTOR UASB- DIGESTOR.....	58
FIGURA N° 7.1: BALANCE DQO PARA SEMANA 15 Y 16.....	199

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA N° 3.1 PLANTA DE TRATAMIENTO CON AIREACIÓN PROLONGADA EN AL-BIREH(PALESTINA)	23
FOTOGRAFÍA N° 4.1: LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN DE LA PTAR-ESPINAR-PUNO	43
FOTOGRAFÍA N° 5.1: UBICACIÓN DEL REACTOR UASB-DIGESTOR.....	49
FOTOGRAFÍA N° 5.2: CÁMARA DE REJAS EN PTAR-ESPINAR(PUNO).....	50
FOTOGRAFÍA N° 5.3: DESARENADOR EN PTAR-ESPINAR(PUNO)	52
FOTOGRAFÍA N° 5.5: VISTA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO PARA EL DIGESTOR DE LODOS.....	54
FOTOGRAFÍA N° 5.6: BOMBEO DE AGUA RESIDUAL AL TANQUE DE 600L (IZQUIERDA); MEZCLADOR EN EL TANQUE DE 600L (DERECHA).....	63
FOTOGRAFÍA N° 5.7: SISTEMA DE CALENTAMIENTO VISTA DE FRENTE (IZQUIERDA), REACTOR UASB-DIGESTOR Y SISTEMA DE CALENTAMIENTO (DERECHA)	66
FOTOGRAFÍA N° 5.8: DIFERENTES HORAS DE MUESTREO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE PTAR –ESPINAR (PUNO)	66
FOTOGRAFÍA N° 5.9: PUNTOS DE MONITOREO DEL REACTOR UASB-DIGESTOR	67
FOTOGRAFÍA N° 5.10: TERMÓMETRO AMBIENTAL UBICADO CERCA DEL REACTOR UASB.....	70
FOTOGRAFÍA N° 5.11: MATERIALES PARA MONITOREO DE TEMPERATURA (IZQUIERDA), MEDICIÓN DE TEMPERATURA (DERECHA).....	71
FOTOGRAFÍA N° 5.12: PH DIGITAL HACH HQ11D , SOLUCIONES BUFFER	72
FOTOGRAFÍA N° 5.13: TURBIDÍMETRO HACH 2100P	73
FOTOGRAFÍA N° 5.14: ESPECTRÓMETRO DR 5000TM UV-VIS	73
FOTOGRAFÍA N°5.15: EQUIPO DE FILTRACIÓN, FILTROS Y MUESTRA DE AGUA RESIDUAL Y TRATADA (IZQUIERDA), DESECADOR Y BALANZA DIGITAL (DERECHA)	74
FOTOGRAFÍA N° 5.16: ESTUFA ELÉCTRICA (IZQUIERDA) Y MUFLA (DERECHA) ..	75
FOTOGRAFÍA N° 5.17: MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN CONO IMHOFF.....	76

FOTOGRAFÍA N° 5.18: AGUA DE DILUCIÓN Y NUTRIENTES (IZQUIERDA), INCUBADORA CON FRASCOS ESMERILADOS (DERECHA)	78
FOTOGRAFÍA N° 5.19: DIGESTOR MODELO DBR 200, PARA LA DQO	79
FOTOGRAFÍA N° 5.20: FILTROS DE 0.45UM PARA DQO SOLUBLE (IZQUIERDA), PUNTAS DE PIPETA Y PROPIPETA (DERECHA).....	80
FOTOGRAFÍA N° 5.21: MATERIALES PARA MEDIR GAS METANO	81
FOTOGRAFÍA N° 5.22: CINTA MÉTRICA PARA REACTOR UASB (IZQUIERDA), Y PARA DIGESTOR (DERECHA)	82
FOTOGRAFÍA N° 5.23: VÁLVULA CKECK.....	86
FOTOGRAFÍA N° 5.24: EL MEZCLADOR MECÁNICO DESPUÉS DE SU REPARACIÓN (IZQUIERDA) Y EL PIEZÓMETRO COLOCADO AL TANQUE (DERECHA).....	87
FOTOGRAFÍA N° 5.25: INOCULACIÓN DE LODO EN REACTOR UASB Y DIGESTOR DE LODOS.....	88
FOTOGRAFÍA N° 5.26: EL REACTOR UASB Y DIGESTOR SE CUBRIÓ CON PLÁSTICO NEGRO AL IGUAL QUE CIRCUITOS DE MANGUERA.....	89
FOTOGRAFÍA N° 5.27: ACCESORIO ATORADO CON LODO DEL DIGESTOR.....	90
FOTOGRAFÍA N° 5.28: FILTRACIÓN DEL LODO USANDO UN COLADOR DE COCINA Y ESPÁTULA	90
FOTOGRAFÍA N° 5.29: DEFICIENTE TRASLADO DE LODO DEL DIGESTOR OCASIONA LA PÉRDIDA DEL NIVEL CONSTANTE DE LODO.....	92
FOTOGRAFÍA N° 5.30: SISTEMA DE CALENTAMIENTO A INICIOS DE INVESTIGACIÓN	97
FOTOGRAFÍA N° 5.31: ACUMULACIÓN DE ÓXIDO EN LA BASE DEL DIGESTOR DE LODOS.....	98
FOTOGRAFÍA N° 5.32: SE MEJORA LAS BOLSAS DE RECOLECCIÓN DE BIOGÁS EN REACTOR UASB-DIGESTOR.....	99
FOTOGRAFÍA N° 5.33: TOMA DE MUESTRA EN EL PUNTO B (IZQUIERDA) Y EN EL PUNTO A (DERECHA)	100
FOTOGRAFÍA N° 7.1: LIMPIEZA DE VERTEDEROS, DEFLECTOR Y SEPARADOR DE FASES.....	212

FOTOGRAFÍA N° 11.1: TOMA DEMUESTRA EN EL PTO B (IZQUIERDA), MUESTRA EN EL PTO C (DERECHA).....	255
FOTOGRAFÍA N° 11.2: PROGRAMACIÓN DE BOMBA PERISTÁLTICA (IZQUIERDA), AGITACIÓN DE MEZCLADOR MECÁNICO EN DIGESTOR.	255
FOTOGRAFÍA N° 11.3: LIMPIEZA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.	256
FOTOGRAFÍA N° 11.4: TRANSPORTE DE AGUA RESIDUAL PTAR-ESPINAR-PUNO	256
FOTOGRAFÍA N° 11.5: MEDICIÓN DE PARÁMETROS DIARIOS: PH,TURBIEDAD,SST(IZQUIERDA) MEDICIÓN DE OXÍGENO DISUELTO CON OXIMETRO	257
FOTOGRAFÍA N° 11.6: PRUEBA DE LA DB05.....	257
FOTOGRAFÍA N° 11.7: PRUEBA DE SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN LA MUFLA.....	258
FOTOGRAFÍA N° 11.8: SOLUCIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO, PARA MEDIR EL METANO	258
FOTOGRAFÍA N° 11.9: CÁPSULAS DE PORCELANA, DESPUÉS DE ESTAR EN LA ESTUFA	259
FOTOGRAFÍA N° 11.10: CÁPSULAS DE PORCELANA, DESPUÉS DE LA MUFLA ...	259
FOTOGRAFÍA N° 11.11: SÓLIDOS SEDIMENTABLES, IZQUIERDA (ENTRADA DE AGUA RESIDUAL), MEDIO (SALIDA DE UASB TRH 12 HORAS), DERECHA (SALIDA UASB TRH 4 HORAS)	260

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO N° 5.1: DISEÑO REACTOR UASB.....	61
PLANO N°5.2: DISEÑO DIGESTOR DE LODOS	64

GLOSARIO

DQO(i): Son los g de DQO de ingreso del afluente.

DQO(e): Son los g de DQO de salida del efluente.

DQO(CH₄) : Se refiere g DQO transformada a metano (gas y disuelto en el efluente).

DQO(l_p): DQO lodo purgado son los g de DQO correspondiente a la biomasa en las purgas realizadas, es necesario conocer la masa de sólidos eliminados, y la relación DQO/SSV, que se determina experimentalmente.

DQO(l_a): DQO lodo acumulado, corresponde a los g de DQO de la biomasa acumulada entre en el reactor entre el inicio y el final del período que se hace el balance de masa, este término puede ser positivo o negativo.

DQO(p): Son las pérdidas de DQO por otros procesos químicos biológicos, además del metano puede existir otros productos finales que contienen DQO y no son determinados, tales como los compuestos no oxigenados de S y N principalmente. Este término incluye efecto de sulfatoreducción y la nitrificación- desnitrificación.

SST: Sólidos suspendidos totales.

SSV: Sólidos suspendidos volátiles.

SSD: Sólidos totales disueltos

UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanquet.

TRH: tiempo de retención hidráulico.

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

PTAR-Espinar: Planta de tratamiento de aguas residuales Espinar de la ciudad de Puno.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales doméstica en el ande peruano específicamente en zonas con climas templados a fríos iguales a 3800msnm, respecto a la remoción de carga orgánica, tradicionalmente en el Perú se ha hecho con tecnologías como: lagunas facultativas, en casos extremos no se tiene ningún tipo de tratamiento.

La presente investigación propone una nueva alternativa de tratamiento primario optimizado denominado “Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (RAMLFA), acompañado de un Digestor de lodos” ó “UASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanquet) con Digestor de lodos” en adelante se denominará reactor **UASB-Digestor**, con este tratamiento se podrá obtener una óptima remoción de carga orgánica, a pesar de no ser favorable el clima, en gran parte del año, en localidades iguales a 3800msnm.

La zona de investigación esta ubicada a 5km de la PTAR-Espinar, en el centro poblado Salcedo de la ciudad de Puno. Para el funcionamiento se suministró agua residual con tratamiento preliminar (cámara de rejillas gruesa y desarenador) de la planta de tratamiento de aguas residuales-Espinar(PTAR-Espinar) de Puno, para la investigación se monitoreo los siguiente parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno total (DQO total), sólidos totales, sólidos volátiles totales, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, turbiedad, temperatura, potencial de hidrógeno, producción de gas metano, medición de altura de lodo.

La instalación fue el 01 de Diciembre del 2012, se empezó con el arranque y puesta en marcha el 28 de Diciembre de 2012, los monitoreos semanales de investigación a partir del 11 de Abril, culminándose el 19 de julio del 2013.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En el departamento de Puno a una altitud igual a 3800msnm, respecto al tratamiento de agua residual doméstica en la gran mayoría de sus provincias cuentan con tratamiento preliminar seguido de tratamiento con lagunas de estabilización que funciona como tratamiento primario y secundario, a consecuencia de una deficiente operación y mantenimiento sumado a las condiciones de baja temperatura a esa altitud y en muchos casos no se proyectó la ampliación de la capacidad de la PTAR por el crecimiento de la población, estas condiciones permiten que la eficiencia de remoción de carga orgánica sea baja, como consecuencia afecta los ríos y cuerpo receptor donde se descarga, en el caso de Puno afecta la biodiversidad del lago Titicaca.

La falta de tecnología optimizada para estas localidades de baja temperatura durante más de 6 meses, ubicados a una altitud iguales a 3800msnm nos motiva a investigar una nueva tecnología para estas localidades del ande Peruano.

2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones de baja temperatura y a una altitud iguales a 3800msnm, el tratamiento secundario aplicado para condiciones de esta altitud necesita un tratamiento primario optimizado para mejorar el tratamiento del agua residual doméstica.

En el caso de Puno cuenta con tratamiento preliminar con una cámara de rejas gruesa y dos desarenadores en paralelo, dos lagunas de estabilización en serie que funciona como tratamiento primario y secundario. Existe un problema adicional la falta de área disponible, para una posible ampliación de la PTAR.

Debido a estos problemas surge la necesidad de investigar una nueva tecnología de tratamiento primario optimizado para remover la carga orgánica, este proceso debe implicar una operación y mantenimiento sostenible, bajo consumo de energía y resultados óptimos de remoción de material contaminante y que ocupe el menor espacio posible.

2.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el departamento de Puno por las condiciones climáticas a esa altitud, las bajas temperaturas disminuye la tasa de hidrólisis debido a la baja temperatura del afluente, al utilizar un digestor de lodos operado a una temperatura de 25 a 35 °C y un tiempo de retención hidráulico de 10 a 20 días, el digestor de lodos al recibir como afluente lodo mezclado con agua residual parcialmente hidrolizada del reactor UASB, el digestor acelera la tasa de hidrólisis, el efluente del digestor se regresa al reactor UASB, cerca a la zona de ingreso de agua residual, entonces en el digestor de lodos se completará la etapa de hidrólisis a una temperatura mayor y tiempo de retención hidráulica mayor que del reactor UASB.

Se realiza el calentamiento en un tanque separado (digestor de lodos), pues se espera que el volumen del digestor sea menor que del reactor UASB, por tanto será más económico calentar un tanque de menor volumen que calentar todo el reactor UASB , el lodo caliente retiene más el calor que un líquido, por tanto los gastos de energía serán menores, así como el costo de inversión y operación y mantenimiento para el sistema de calentamiento.

Adicionalmente se podría en un PTAR a escala real utilizar la energía solar como fuente de energía para realizar el calentamiento.

Se investigó a escala piloto la tecnología, “Reactor de manto de lodos de flujo ascendente acompañado de un digestor de lodos” ó reactor UASB-Digestor, en Palestina (climas fríos a templados, temperaturas iguales a 15°C). [Mahmoud , 2002] con resultados positivos. Por tal motivo es necesario su estudio y ajuste de parámetros de diseño, para instalar a localidades del ande peruano ubicados a un altitud de 3800msnm.

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Investigar la remoción de carga orgánica en un Reactor de manto de lodos de flujo ascendente que trabaje con un Digestor de lodos (llamado en adelante reactor UASB-Digestor) como acelerador de la tasa de hidrólisis para localidades con altitudes iguales a 3800msnm, específicamente para la ciudad de Puno.

2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- a. Determinar el tiempo de retención hidráulico del reactor UASB.
- b. Determinar el tiempo de retención hidráulico del Digestor de lodos.
- c. Determinar el volumen de gas metano generado tanto en el reactor UASB y Digestor de lodos.
- d. Evaluar la remoción de sólidos totales, sólidos volátiles totales, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables.
- e. Evaluar la calidad de lodo del reactor UASB respecto al Digestor de lodos.
- f. Evaluar los criterios de operación y mantenimiento de un reactor UASB-Digestor.
- g. Evaluar la medición de parámetros diarios: turbiedad, temperatura, pH.

2.4 HIPÓTESIS

Considerando el uso de un digestor de lodos que acelere la tasa de hidrólisis de un reactor UASB se logrará una remoción de la carga orgánica igual al 50% o superior en el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Puno.

2.5 VARIABLES DE ESTUDIO

En el presente estudio experimental a escala piloto, se tienen las siguientes variables:

2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES

Las variables en dependientes en estudio son:

- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 en el efluente.
- ✓ Demanda química de oxígeno total DQO en el efluente.
- ✓ Sólidos suspendidos totales en el efluente.

2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables en estudio son las siguientes:

- ✓ **Tiempo de retención hidráulico de reactor UASB:** Se operó con 6 caudales 49.0L/día-57.6L/día-69.1L/día-86.4L/día-115.2L/día-172.8L/día con 14,12,10,8, 6 y 4 horas de retención hidráulico respectivamente.
- ✓ **Tiempo de retención hidráulico del Digestor:** Se operó con un caudal 34.6L/día bombeado por períodos. Para un tiempo de retención hidráulico de 10 días en etapa 1 y tiempo de retención hidráulico de 20 días en etapa 3.

2.5.3 VARIABLES INTERVINIENTES

- ✓ **Temperatura ambiental:** Se trabajó en época de lluvia: Enero-Abril (22°C-10°C) y época de heladas: Mayo- Julio (20°C – 8°C). Clima característico del departamento de Puno.
- ✓ **Sistema de calentamiento del Digestor:** La frecuencia de bombeo de agua caliente al intercambiador de calor para mantener el lodo en el Digestor a una temperatura entre 25 – 35°C.
- ✓ **Calidad de agua del efluente:** La calidad de agua residual que se trasladó desde la PTAR-Espinar, hasta la zona de investigación.

2.5.4 PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESO

Para controlar el proceso de tratamiento mediante el reactor “UASB-Digestor”, se monitoreó los siguientes parámetros:

- ✓ **Turbiedad:** Es un expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra, nos indica presencia de materias en suspensión, como arcilla, materia orgánica e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados.
- ✓ **Temperatura:** Importante a ser monitoreado, está directamente relacionado a las reacciones químicas y velocidades de reacción y la actividad microbiana en el reactor UASB y digestor de lodos.
- ✓ **Potencial de Hidrógeno (pH):** Expresión usual para medir la concentración de ion hidrógeno en una solución, las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y

superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos.

- ✓ **Gas Metano:** La cantidad de producción nos indica el buen funcionamiento de la vida microbiana de las bacterias metanogénicas, de todo el biogás producido medimos el metano.
- ✓ **Sólidos suspendidos totales (SST):** Expresión que se aplica a los residuos que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra, permitirá medir en la entrada y salida del reactor y así saber el porcentaje de remoción.
- ✓ **Sólidos Volátiles (SVT):** Expresión que se aplica a los residuos que fueron evaporados, para luego ser calcinados, nos indica la presencia de materia orgánica.
- ✓ **Sólidos Sedimentables (SS):** Para la determinación de sólidos sedimentables, importante parámetro, ya que su acumulación en reactor produce zonas muertas.
- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** Es la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias mientras se estabiliza la materia orgánica bajo condiciones aerobias. Es un bioensayo importante para conocer la carga de contaminación orgánica del agua.
- ✓ **Demanda Química de Oxígeno Total (DQO_{total}):** Para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible a ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido. La relación DBO₅/DQO en aguas residuales municipales no tratadas oscila entre 0.3 y 0.8, si

este valor DBO_5/DQO es mayor que 0.5, se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos, pero si DBO_5/DQO es menor que 0.3 el residuo puede contener constituyentes tóxicos o deben tener microorganismos aclimatados para su estabilización.

- ✓ **Demanda Química de Oxígeno soluble (DQO soluble):** Se obtiene utilizando la muestra filtrada a través de un filtro de membrana con un tamaño de poro de 0.45µm y se sigue el procedimiento para DQO total, este parámetro nos sirve para hallar la remoción de la DQO coloidal y suspendida.

2.6 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- ✓ **RAFA:** Reactor de manto de lodos de flujo ascendente. En inglés reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
- ✓ **UASB-digestor:** Reactor UASB integrado con un digestor.
- ✓ **Digestión anaerobia:** Respiración en la que alguna sustancia como SO_4^{2-} ó NO_3^{-1} sirve como aceptor terminal de electrones en vez de O_2 .
- ✓ **Respiración:** Proceso en el que un compuesto es oxidado con oxígeno o un sustituto del oxígeno que funciona como aceptor terminal de electrones, y que normalmente se acompaña de la producción de ATP por fosforilación oxidativa.
- ✓ **Anaerobio:** Metabolismo, célula u organismo que funciona sin la intervención del oxígeno (se aplica principalmente en relación con un ser vivo)

- ✓ **Acetogénesis:** Metabolismo energética con producción de acetato, bien a partir de H_2 mas CO_2 , bien a partir de compuestos orgánicos.
- ✓ **Anóxico:** Sin oxígeno(se aplica principalmente a un medio de cultivo, hábitat o ambiente)
- ✓ **Agua residual:** Líquidos contaminados con material fecal humano ó animal.
- ✓ **Fermentación:** Catabolismo anaerobio de un compuesto orgánico donde el compuesto actúa tanto de donador como de aceptor de electrones y el ATP se produce por fosforilación a nivel de sustrato.
- ✓ **Metanogénesis:** Producción biológica de metano (CH_4).
- ✓ **Potencial de reducción:** La tendencia intrínseca (medida en voltios) de una sustancia para donar electrones.
- ✓ **Bioenergía:** Es un tipo de energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente, de las sustancias que constituyen los seres vivos(plantas, ser humano, animales), o sus restos y residuos.
- ✓ **Bioconversión:** Cconocido como biotransformación se refiere a la utilización de organismos vivos a menudo microorganismos para llevar a cabo una reacción química que es más costoso o no viable no biológicamente. Estos organismos convierten una sustancia en una forma químicamente modificada.
- ✓ **Reactor de mezcla completa(CSTR):** Es un tanque en el cual la masa reaccionante es continuamente agitada de tal manera que se considera como una mezcla completa, por lo tanto se considera que sus propiedades son uniformes en todo el interior del reactor.

- ✓ **Lodo granular:** Posee elevada densidad y alta actividad metanogénica.
- ✓ **HUSB:** (hydrolysis upflow sludge bed). Hidrólisis de lodo de manto de lodos de flujo ascendente reduce la cantidad de sólidos en suspensión y aumenta la cantidad de materia orgánica soluble y fácilmente biodegradable.
- ✓ **AF:** Filtro anaerobio, fue el primer tratamiento anaerobio que demostró viabilidad técnica de aplicar cargas elevadas (10 a 20 kgDQO/m³d), pero su desventaja el alto costo de material filtrante y problemas de atascamiento por elevadas concentración de SST.
- ✓ **PTAR-Espinar:** Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno, consiste en una cámara de rejillas gruesa, desarenador y dos lagunas de estabilización en serie.
- ✓ **Tratamiento primario:** Remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico.
- ✓ **Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de demanda bioquímica de oxígeno soluble mayor al 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adherida.
- ✓ **TRH:** Tiempo de retención hidráulico.
- ✓ **Eficiencia de tratamiento:** Relación entre la masa ó concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en porcentajes.
- ✓ **Fototrofo:** Microorganismo capaz de usar la luz como fuente de energía.

- ✓ **Nitrificación:** Conversión microbiana de NH_3 a NO_3^-
- ✓ **Desnitrificación:** Respiración anaeróbica en la que el NO_3^- se reduce a compuestos nitrogenados gaseosos, fundamentalmente N_2 .
- ✓ **Sulfatoreducción:** Grupos de bacterias que utilizan el SO_4^{2-} como agente oxidante, reduciendo a sulfuro (H_2S).

2.7 MARCO LEGAL

2.7.1 ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ

A continuación indicamos los principales documentos legales emitidos por el gobierno peruano. (Ver anexo N° 1).

- A) Constitución política del Perú 1993. Artículos 66° y 68°.
- B) Ley de reforma sobre descentralización: Ley N° 27680.
Artículos 192° y 195°.
- C) Ley general de la salud: Ley N° 28642
Artículos 96° y 104°.
- D) Ley general el ambiente: Ley N° 28611
Artículos 29°, 31°, 32°, 120°, 121° y 122°.
- E) Estándares de calidad ambiental (ECA) para agua: Decreto supremo N° 002-2008 MINAM.
Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- F) Disposición para la implementación de los ECA para agua: decreto supremo N° 023-2009 MINAM. Artículos 2°, 7°, 11°.

- G) Límites máximo permisibles para los efluentes de PTAR doméstica o municipales: Decreto supremo N° 003-2010 MINAM. Artículos 1° y 3°
- H) Ley marco para el crecimiento de la inversión privada: Decreto legislativo N°757. Artículos 53° y 55°.
- I) Ley orgánica de gobiernos regionales: Ley N° 27902.
- J) Ley orgánica de municipalidades: Ley N° 27972. Artículos 80° y 141°.
- K) Ley de creación, organización y función del MINAM: Decreto legislativo N° 1013. Artículos 1°, 3°, 6° y 7°.
- L) Ley de recursos hídricos: Ley N° 29338(2009). Artículos 1°, 2°, 6°, 11°, 12°, 13°, 14°, 45°, 54°, 56°, 58°, 59°, 62°, 88°, 103°, 104°, 106°, 113°, 131°, 132°, 133°, 134°, 135°, 136°, 137°, 138°, 139°, 140°, 141°, 142°, 143°, 144°, 145°, 146°, 147°, 148°, 149°, 150°, 151°, 152°, 180°, 181°, 182°, 183°, 184°, 278°, 279°, 281°.
- M) Ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental: Ley N° 27446. Artículos 1°, 5° y 15°.
- N) Ley general de servicios de saneamiento: Ley N° 26338. Artículos 4°, 8°, 9° y 10°.
- O) Reglamento de la ley general de servicios de saneamiento: D.S. N° 09-95-PRES. Artículos 17°, 55° y 56°.
- P) Directiva N° 180-97 SUNASS. N° 05.

- Q) Código del medio ambiente: D.L. N° 613. Artículos 107°, 113° y 114°.
- R) Resolución ministerial N° 0030-84 S.A. / D.V.M. Artículos 1° y 4°.
- S) Código penal: D.L. N° 635. Artículos 304°, 305° y 307°.
- T) Norma OS 0.90 obras de saneamiento planta de tratamiento de aguas residuales, Ítem N° 5.1.5 - 5.4.1

2.7.2. ENTIDADES INVOLUCRADAS

Las principales entidades involucradas en el cumplimiento de marco legal e instituciones regionales de Puno.

- A) Ministerio del Ambiente (MINAM)
- B) Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- C) Ministerio de Agricultura (MINAG)
- D) Ministerio de Economía y Finanzas (MEF)
- E) Ministerio de producción
- F) Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- G) Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento (SUNASS)
- H) Ministerio de Salud (MINSa)
- I) Proyecto Binacional Lago Titicaca (PELT)
- J) Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico (ALT)
- K) Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno (EMSAPUNO)

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES

3.1 INFORMACIÓN GENERAL

La tecnología reactor UASB no es la única tecnología anaerobia para tratamiento directo de las aguas residuales domésticas, pero sin duda la más difundida. A pesar de ser reciente para este uso (primera planta a escala real en 1988) se ha convertido hoy en día en la primera opción, por su economía y sencillez, en la mayor parte de los países de América latina, y en más de 50 % del mercado de plantas compactas para caudales entre 5 y 50 L/s. [Philippe Conil, 2001]

En regiones de clima moderado-frío (donde las aguas residuales tienen una temperatura entre 10° y 20°C), todavía se están desarrollando experiencias avanzadas con tratamiento anaerobio, algunos investigadores indicaron que el desarrollo de un reactor UASB a baja temperatura (5-20°C) está altamente limitado por la hidrólisis de los sólidos atrapados en el mismo, los cuales se acumulan en el manto de lodo cuando se aplican altas cargas orgánicas. [Zeeman y Lettinga, 1999]

Los sólidos, que son atrapados por el manto de lodo del reactor UASB, podrían llevarse a un digestor operando en condiciones óptimas donde podrían estabilizarse y después ser recirculados al reactor UASB. Una experiencia previa de laboratorio indicó que las eficiencias de eliminación se aumentaron sobre un 5% respecto a la DQO total y sólidos suspendidos totales cuando el reactor UASB operó en combinación con un digestor de lodos de mezcla completa. [Ruíz et al., 1998].

El tratamiento de aguas residuales anaerobia en países con un clima bajo o moderado de temperatura es un verdadero reto para los investigadores en el campo de la tecnología ambiental del agua. [Lettinga et al., 2001]

El potencial de una tecnología novedosa que consiste en un reactor UASB complementado con un digestor de lodos (UASB-Digestor) para el tratamiento de aguas residuales y lodos de mutua estabilización se investigó bajo condiciones de baja temperatura teniendo mejores resultados en UASB-Digestor [Nidal Mahmoud, 2002]

La digestión anaerobia es una alternativa cada vez más consolidada y utilizada, especialmente en el tratamiento de efluentes de media y alta carga. Las principales ventajas de la digestión anaerobia frente al tratamiento aerobio son la producción de biogás que, en general, satisface las demandas energéticas de la planta o incluso puede llegar a generar una cantidad extra de energía, y una escasa producción de lodo en exceso. Además, la digestión anaerobia se puede aplicar tanto en tratamientos centralizados como descentralizados, al tiempo que constituye un tratamiento de bajo coste. [Juan Alvarez, 2003]

3.2 TRATAMIENTO CON REACTORES UASB A BAJAS TEMPERATURAS

El desarrollo de un reactor UASB acoplado a un digestor de lodos tratando aguas residuales domésticas, este sistema fue diseñado para evitar el deterioro del manto de lodo por retención de sustancias biodegradables inhibitorias que se acumulan en el lodo sobre todo a bajas temperaturas. [Juan Alvarez, 2003]

El tratamiento de aguas residuales anaerobia no se limita ciertamente a los países tropicales ni a las aguas residuales de baja carga orgánica. Una nueva investigación a escala piloto sistema que consta de reactor UASB-Digestor. En la propuesta una unidad de sistema de digestor paralelo se incorpora para estabilización mejorada lodos y generación de activa lodos metanogénicas para ser recirculado al reactor UASB. Los resultados obtenidos fueron prometedores en comparación con el reactor UASB de una etapa. [Nidal Mahmoud, 2011]

3.2.1 REACTORES UASB MODIFICADOS A BAJAS TEMPERATURAS

La propuesta para mejorar el rendimiento de un reactor UASB en climas de baja temperatura, fue investigada con diversas propuestas acopladas al reactor UASB (Ver figura N° 3.1), todas estas aplicaciones buscan mejorar la tasa de hidrólisis para después tener una actividad metanogénica y así obtener una óptima remoción de DQO total, demanda bioquímica de oxígeno, SST.

Un reactor UASB-filtro híbrido, para mejorar el comportamiento del reactor UASB a bajas temperaturas es proporcionar una área de superficie de la biomasa de fijación y el crecimiento en el volumen de reactor por encima del manto de lodos. [Tilche y Vieira, 1991]. Esto se puede lograr mediante la sustitución del típico separador de fases del reactor UASB con medios filtrantes. [Elmitwalli et al. 1999], posteriormente este arreglo fue probado experimentalmente por M. Belavski et al.

Un HUSB- UASB, denominado sistema de doble etapa, primero un reactor HUSB Hidrólisis de lodo de manto de lodos de flujo ascendente (hydrolytic upflow sludge bed) y un reactor UASB acoplados en serie, el objetivo de la primera etapa (HUSB) fue reducir la cantidad de sólidos en suspensión y aumentar la cantidad de materia orgánica soluble y fácilmente biodegradable para alimentar la etapa metanogénica (UASB). Los resultados obtenidos confirman que un sistema en doble etapa HUSB-UASB es un tratamiento viable de aguas residuales domésticas de media-baja carga a temperaturas de 14-20°C aunque su consolidación requiere investigaciones adicionales. [Juan Alvarez, 2003]

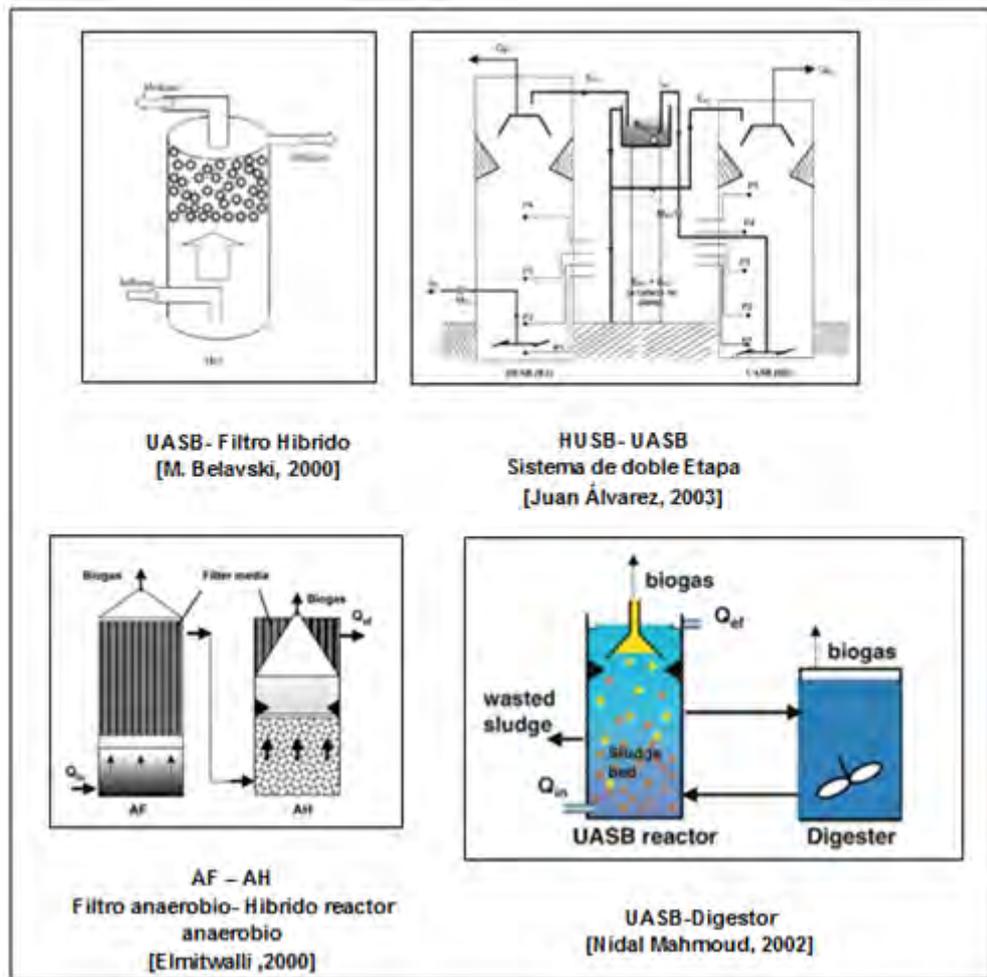


Figura N°3.1: Diseño de los procesos modificados para reactor UASB
Fuente: [Se indica en cada figura]

Un AF-AH, también un sistema de doble etapa. La AF (anaerobic filter) es un reactor de lecho fijo anaerobio de retención de la DQO suspendido. El AH (anaerobic hybrid) reactor es un sistema que consiste en un lecho de lodo en la parte inferior y el material de filtro en la parte superior. La zona de filtro en el reactor AH retiene físicamente biomasa y ejerce actividad biológica que contribuye a más reducción de DQO, fue ensayado a 13°C teniendo buenos resultados [Elmitwalli, 2000]

Un reactor UASB-Digester, los sólidos en suspensión del afluente son capturados en el reactor UASB de funcionamiento en condiciones ambientales y se transportan como una lodo

concentrado al digestor que funciona a condiciones de proceso óptimas con respecto a la temperatura (25-35°C) y TRS(10 a 27 días). El lodo digerido que contiene bacterias metanogénicas se recircula al reactor UASB para mejorar su capacidad de metanogénica. El biogás en el digestor debe ser reutilizado para su calentamiento. [Nidal Mahmoud, 2002]

Cuadro N° 3.1: Experiencia a bajas Temperaturas para reactores UASB

Tipo de reactor	T(°C)	DQO(mg/L)	THR(h)	Remoción%		Eliminación de lodo por operación	Referencia
				DQO	SST		
UASB	12-16°C	688	24	55-75	55-80	Lodo exceso	Lettinga et al (1983)
UASB	9-15°C	310	12	37-48		Lodo exceso	Bodick et al (2000)
UASB-Filtro Híbrido	10-14°C	200-1300	3-24h	38-60		Problemas por acumulación en filtros	M. Belavski et al (2000)
HUSB-UASB	14-20.7°C	118-401	5.7-2.8[HUSB] + 23.1-6.5[UASB]	49.3-64.6	76.4-89.1	Lodo en exceso	Juan Álvarez(2003)
AF-AH	13°C	460-530	4[AF]+8[AH]	70		Lodo Inestabilizado	Elmitwalli et al (2000)
UASB-Digestor	15°C	460(122)	6	66(6)		Lodo estabilizado, baja producción de lodo	Nidal Mahmoud (2002)

Fuente: Evaluación de tecnologías anaerobias [Andrés Donoso, 2004], Tesis [Nidal Mahmoud, 2002], Tesis [Juan Álvarez, 2003]

3.2.2 EFICIENCIA DE REACTORES UASB MODIFICADOS A BAJAS TEMPERATURAS

En el cuadro (Ver cuadro N° 3.1) se muestran los principales parámetros de remoción para cada tecnología propuesta, estos ensayos se hicieron a escala piloto.

3.3 EXPERIENCIAS DE INVESTIGACIÓN PARA REACTOR UASB - DIGESTOR

Después de revisar la bibliografía, el reactor UASB con digestor de lodos, fue estudiado a partir del año 2002, mediante investigaciones publicadas en los años 2002, 2003, 2008 y 2011.

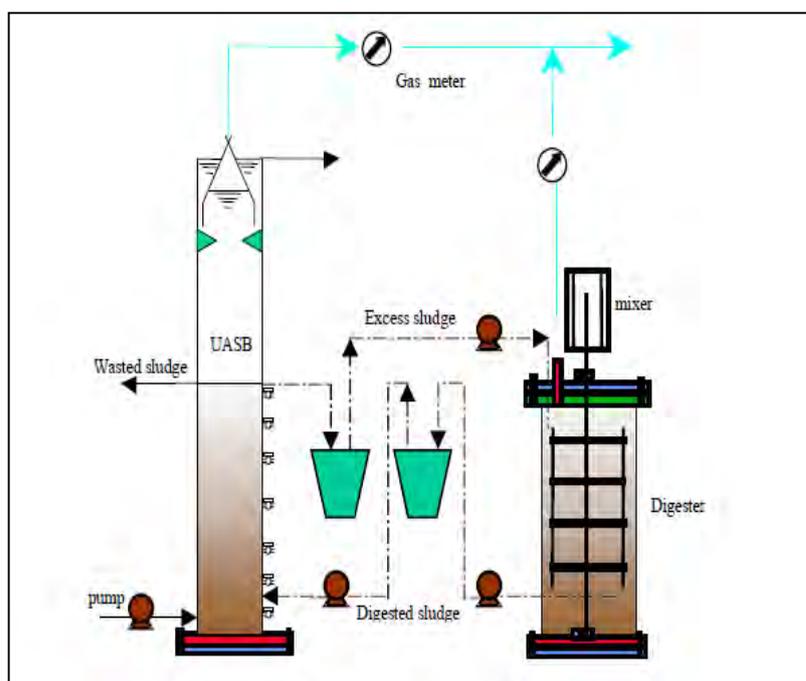


Figura N°3.2: Esquema de Reactor UASB-Digestor de lodos
Fuente: [Nidal Mahmoud;2002]

Según la investigación desarrollada por Nidal Mahmoud (2002) , explica que es posible operar con eficiencias de remoción altas en reactores UASB a bajas temperaturas (15°C) con un funcionamiento óptimo semejante a si el reactor UASB se ubicara en climas tropicales, esto es posible adicionando al reactor un digestor de lodos. El esquema del reactor UASB-Digestor de lodos se aprecia en (Ver figura N° 3.2).

El reactor UASB-Digestor de lodos se investigó para climas de baja temperatura (15°C) para países del medio Oriente, se tomó muestra de tres ciudades palestinas: Ramallah, Al-Bireh (Centros urbanos de comercio y servicios con pequeñas y medianas empresas), Jalazon (campamento de refugiados).

Se encuentra que las aguas residuales muestreadas dan resultados de altos valores de DQO 1500 mg/L- 2200 mg/L y contenido de sólidos suspendidos totales 650 mg/L- 750 mg/L. La aplicación de un reactor UASB es posible solo si se diseña con períodos de retención hidráulica de 22 horas, debido a la baja tasa de hidrólisis de sólidos a consecuencia de bajas temperaturas. Sin embargo como alternativa se recomienda el reactor UASB-Digestor de lodos.

El reactor UASB de dimensiones: volumen (140 L), altura (325cm), diámetro (23.5cm) se operó a 15°C y un tiempo de retención hidráulico de 6 horas , funciono 81 días de los cuales 35 días es para la puesta en marcha. A este mismo reactor se hizo funcionar también a 15°C y un tiempo de retención hidráulico de 6 horas, pero se añadió un digestor de lodos de volumen (106 L) operado aun tiempo de retención hidráulico de 20 días, temperatura 35°C y con agitación constante a 8rpm es un reactor de mezcla completa (CSRT) el digestor de lodos integrado al reactor UASB, funcionó por 83 días, tanto el reactor UASB y digestor fueron construidos a partir de plexiglás y tubos PVC. Toda esta investigación es a escala de laboratorio y se realizó en Holanda en la ciudad de Bennekom con los datos climáticos de Palestina, en el cuadro (Ver Cuadro N° 3.2) se observa el agua residual con que se alimentó al reactor UASB.

En el cuadro (Ver Cuadro N° 3.3) se muestran los resultados de ambas aplicaciones , donde efectivamente el reactor UASB-Digestor de lodos es más eficiente que cuando esta solo el reactor UASB, respecto a la remoción de carga orgánica expresada en DQO Total, DQO Soluble ,DQO Coloidal ,DQO Suspendida.

Cuadro N° 3.2: Características del afluente de desagüe (Bennekom – Holanda) (los números en paréntesis son las desviación estándar)

Parámetro	UASB	UASB-Digestor
DQO Total (mg/L)	721(171)	460(122)
DQO suspendida(mg/L)	389(167)	251(100)
DQO Coloidal(mg/L)	151(46)	124(24)
DQO Disuelta(mg/L)	172(42)	86(37)
pH	7.4(0.1)	7.3(0.2)

Fuente: [Nidal Mahmoud; 2002]

**Cuadro N° 3.3: Eficiencia de remoción reactor UASB y UASB-Digestor
(Las desviaciones estándar se muestran en paréntesis)**

Reactor	Concentración de efluente (mg/L)				Eficiencia de remoción (%)			
	DQO Total	DQO suspendida	DQO Coloidal	DQO Disuelta	DQO Total	DQO suspendida	DQO Coloidal	DQO Disuelta
UASB	390(62)	100(36)	128(19)	162(47)	44(9)	73(14)	3(46)	5(17)
UASB-Digestor	151(34)	32(24)	68(17)	50(10)	66(6)	87(5)	44(15)	30(36)

Fuente: [Nidal Mahmoud; 2002]

Después esta tecnología se instaló en el lugar de los hechos, en Palestina, específicamente, en la planta de tratamiento de Al-Bireh, el reactor UASB de dimensiones: volumen (140 L), altura (325cm), diámetro (23.5cm) se operó a un tiempo de retención hidráulico de 10 horas y se puso en marcha sin inoculación, justo en el período caliente en Palestina, el reactor fue alimentado con aguas residuales domésticas pre-tratados con cámara de rejillas y desarenador, el reactor fue operado 389 días, de los 42 días fueron de arranque.

Para el reactor UASB-Digestor (Ver figura N° 3.3), se extrajo lodo activado de la planta tratamiento con aireación prolongada de Al-Bireh City-Palestina (Ver fotografía N° 3.1), este lodo se inoculó al digestor de volumen 106L, se operó a 35°C y se mantuvo en mezcla completa(CSRT) con agitación a 8rpm, se arrancó por un período de 4 meses, luego el digestor se acopló al reactor UASB, se operó por 107 días, se consideran 57 días como arranque del reactor UASB-Digestor.

En el cuadro (Ver Cuadro N° 3.4) se muestran los resultados de los parámetros DQO Total, DBO₅, SST y el porcentaje de remoción. Donde se demuestra que el reactor UASB-Digestor es mucho más eficiente que reactor UASB.

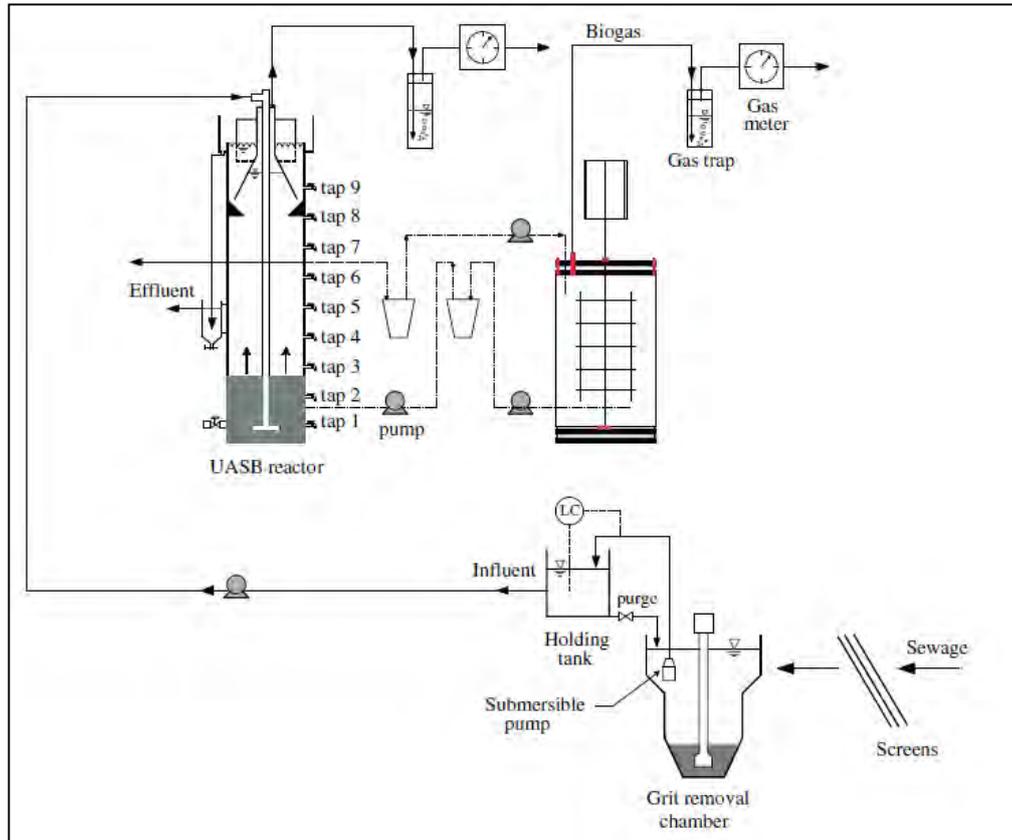


Figura N°3.3: Esquema de planta piloto reactor UASB-Digester en Palestina
Fuente [Nidal Mahmoud, 2008]

Cuadro N° 3.4: Eficiencia de remoción en UASB y UASB-Digester en palestina en la planta de tratamiento de Al-Bireh
(Las desviaciones estándar se muestran en paréntesis)

Parámetro	UASB			UASB-Digester		
	Afluente	Efluente	% Remoción	Afluente	Efluente	% Remoción
DQO Total (mg/L)	1250(56)	645(63)	48(4.56)	1186(272)	318(24)	72(6)
DBO ₅ (mg/L)	588(72)	308(68)	47(13)			
SST(mg/L)	1571(159)	1135(135)	27.8(3)	1125(631)	69(49)	93(6)
NH ₄ -N(mg/L)	63(16)	48.8(15)	22.1(10)	84(5)	88(6)	-5(10)
PO ₄ -P(mg/L)	12.63(5)	12.3(4)	-2.5(10)	14(1)	13(2)	8(11)

Fuente: [Nidal Mahmoud; 2008]



Fotografía N° 3.1 Planta de tratamiento con aireación prolongada en Al-Bireh(Palestina)

Fuente: [Nidal mahmoud, 2011]

En forma paralela el investigador Juan Álvarez (2003) desarrollo un sistema UASB-Digestor (Ver figura N° 3.4), El principal objetivo del digestor de lodos fue mejorar la biodegradación de los sólidos del afluente retenidos en el reactor UASB a bajas temperaturas y recircular el lodo para aumentar de esta forma su actividad metanogénica específica. El lodo se retiraba de la zona media del UASB entrando en la parte alta del digestor y se recirculaba pasando del fondo del digestor al fondo del reactor UASB. La recirculación se realizó de una forma semi-automática. El caudal de lodo recirculado se seleccionó para establecer un tiempo de retención hidráulica (TRH) definido (16-27 días) en el digestor. La temperatura del digestor se mantuvo en un valor óptimo entre 25 y 35°C. El sistema se operó 128 días variando el TRH del reactor UASB y del Digestor (Ver cuadro N° 3.4)

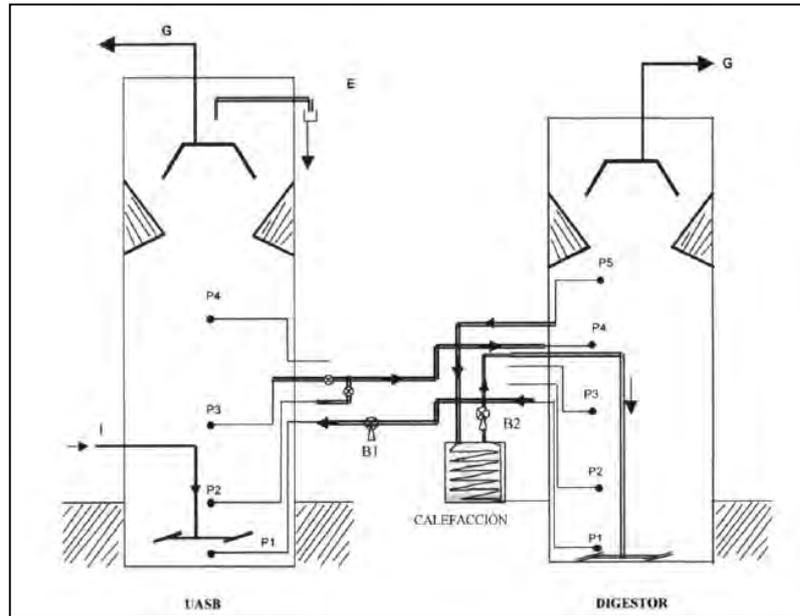


Figura N°3.4: Esquema de planta piloto reactor UASB-Digestor en Santiago de Compostela.

Fuente: [Juan Álvarez, 2003]

Cuadro N° 3.5: Condiciones de operación UASB-Digestor

Período	Tiempo(días)	UASB		Digestor	
		T°C	THR(h)	T°C	THR(días)
I	48(1 a 48)	14.2	25.1	24.6	27.1
II	16(49 a 64)	15.1	9.3	30	27.1
II	22(65 a 86)	15.1	8	28.6	27.1
IV	20(87 a 106)	15.2	6.2	34.5	16
V	22(107 a 128)	15.7	6.1	34.7	16

Fuente: [Juan Álvarez, 2003]

Las dimensiones del reactor UASB, un cilindro metálico de 2.5m de diámetro y 7.5m de altura volumen total y activo fueron 34.9m³ y 25.5m³, respectivamente en la parte superior se supo el separador de fases solido-liquido-gaseoso, el digestor es un cilindro de polipropileno reforzado con fibra de vidrio de 2.4m y una altura de 6.1m, siendo los volumen total y activo 27.6m³ y 20m³ respectivamente, el separador de fase es similar al UASB. Las características del afluente y efluente con el porcentaje de remoción (Ver cuadro N°3.6)

Cuadro N° 3.6: Valores medios de tratamiento de reactor UASB-Digestor

Período	I	II	III	IV	V
Afluente(mg/L, excepto pH)					
pH	7.68	7.51	7.61	7.46	7.53
SST	240	155	186	164	185
DQO Total	412	286	358	288	327
DBO ₅	291	186	250	213	252
Efluente(mg/L, excepto pH)					
pH	7.22	7.28	7.35	7.28	7.17
SST	105	47	38	61	39
DQO Total	279	154	167	183	159
DBO ₅	193	83	101	110	111
Eficiencia de eliminación (%)					
SST	56.4	70	79.3	62.7	79
DQO Total	32.4	46.1	53.2	36.5	51.2
DBO ₅	33.6	55.7	59.7	48.1	61.3
Biogás registrado(l/d)	2107	1718	1455	772	1565

Fuente: [Juan Álvarez, 2003]

Para un TRH de 6-8 h en reactor UASB, 15-16°C de temperatura y con un afluente de 330-360mgDQO, la eficiencia en estado estacionario del reactor UASB-Digestor, fue del 79% de eliminación de SST, 52% de eliminación de DQO total y 60% de eliminación de demanda bioquímica de oxígeno.

Ante estos resultados, es recomendable su estudio e investigación del reactor UASB-Digestor, para la remoción de DQO total, DBO₅, SST para un tiempo de retención hidráulica del reactor UASB entre 6 a 14 horas y tiempo de retención hidráulico para digestor de 10 a 27 días, para el tratamiento de aguas residuales, en localidades ubicados iguales a 3800msnm en el Perú, donde se registran períodos de baja temperaturas, específicamente en el departamento de Puno.

CAPÍTULO 4

MARCO TEÓRICO

4.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los principales procesos que se utilizan en el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas pueden clasificarse con respecto a su función metabólica en procesos (Ver cuadro N° 4.1): aerobios, anaerobios, anóxicos, facultativos y combinados. Los procesos individuales se realizan en sistemas de crecimiento en suspensión, sistemas de película bacterial adherida y en combinación de ellos. Al controlar el ambiente de los microorganismos se incrementa la descomposición de los desechos. Independientemente del tipo de desecho, los procesos de tratamiento biológico buscan controlar el ambiente requerido para el óptimo crecimiento de los microorganismos participantes. [Tchobanoglous&Crites, 1997]

Cuadro N° 4.1: Procesos de tratamiento biológico

Término	Definición
Procesos aerobios	Ocurren en presencia de oxígeno
Procesos anaerobios	Ocurren en ausencia de oxígeno
Proceso anóxico	El proceso por medio del cual el nitrógeno de los nitratos se convierte biológicamente en nitrógeno gaseoso en ausencia de oxígeno. Este proceso también se conoce también desnitrificación anóxica
Procesos facultativos	Los organismos pueden actuar en presencia y ausencia de oxígeno molecular
Procesos híbridos(combinados)	combinaciones diferentes de procesos aerobios, anaerobios y anóxicos agrupados con el fin de conseguir un objetivo en particular

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, Tchobanoglous&Crites

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que

contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.

En el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas. Atendiendo a cual es dicho aceptor de electrones distinguimos tres casos:

- ✓ **Proceso aerobios:** La presencia de oxígeno hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.
- ✓ **Proceso anaerobios:** En este caso el aceptor de electrones puede ser el dióxido de carbono ó parte de la propia materia orgánica obteniéndose como producto de esta reducción el carbono es su estado más reducido, el metano. La utilización de este sistema, tiene como ventaja importante, la obtención de un gas combustible.
- ✓ **Proceso anóxicos:** Se denominan así los sistemas en los que la ausencia de oxígeno y la presencia de nitratos hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones, transformándose, entre otros, en nitrógeno atmosférico , elemento completamente inerte. Por tanto es posible, en ciertas condiciones, conseguir una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación).[CITME,2006]

4.2 TRATAMIENTO ANAEROBIO

El tratamiento anaerobio se basa en la digestión de la materia orgánica por parte de microorganismos anaerobios presentes en medios húmedos que no contienen oxígeno, obteniéndose como resultado de esta degradación metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, etc. Esta situación se produce de forma natural en aguas semiestancadas, en cauces donde la gran cantidad de materia orgánica acabado con el oxígeno. Depende de tres factores fundamentales:

- a) La cantidad de biomasa activa que puede ser retenida en el reactor.
- b) La actividad específica de la biomasa.
- c) Contacto biomasa-agua residual (sustrato).

4.2.1 SISTEMA DE CARGA ORGÁNICA BAJA

La baja eficacia de eliminación de los primeros sistemas de tratamiento anaerobio: tanque séptico, tanque Imhoff, lagunas anaerobias, se debe a una falta fundamental: existe muy poco o ningún contacto entre la biomasa del sistema y el material no sedimentable del afluente. Por esta razón, mucho del material disuelto o hidrolizado no puede ser metabolizado y acaba siendo descargado del sistema de tratamiento en el efluente. En estos diseños, la importancia del contacto del lodo y el material orgánico no fue reconocida y el bajo desempeño de los sistemas anaerobios era atribuido a una inferioridad intrínseca con relación a los sistemas aerobios. Por otra parte, el digester de mezcla completa presenta baja capacidad de retención de biomasa, ya que el tiempo de retención celular ó de sólido (TRS) (Ver sección 4.4.5) es igual al tiempo de retención hidráulico (TRH) (Ver sección 4.4.4). Sin embargo, un sistema de tratamiento anaerobio puede tener una alta eficacia en la eliminación de la materia orgánica, aún con muy poco tiempo de residencia, cuando el TRS y el TRH son distintos (siempre $TRS > TRH$).

4.2.2 SISTEMA DE CARGA ORGÁNICA ALTA

Los sistemas modernos de tratamiento anaerobio, también llamados sistemas de segunda generación, tienen un mecanismo de retención de lodo que permiten la retención de una gran masa de lodo, lo que los diferencia de los sistemas antiguos. La retención de lodo es tan importante que los sistemas modernos son generalmente clasificados según el mecanismo que permite la retención (Ver figura 4.1).

- a) Inmovilización de lodo a través de adherencia a un material inerte de soporte. En esta categoría están: Filtro anaerobio de flujo ascendente o descendente (operan con soporte fijo) y Reactor de lecho fluidizado o expandido (en este caso el soporte está expandido).
- b) Separación sólido-líquido del afluyente con retorno de los sólidos separados al reactor. En esta categoría están los procesos de contacto con un decantador externo o el reactor UASB con un decantador interno. Casos especiales son:
 - 1) cuando el reactor anaerobio también es decantador, es decir, cuando no hay un dispositivo especial de separación de las zonas de digestión y decantación
 - 2) cuando los propios lodos funcionan como los gránulos de un lecho expandido o llamado lecho de lodo granulado expandido (EGSB).

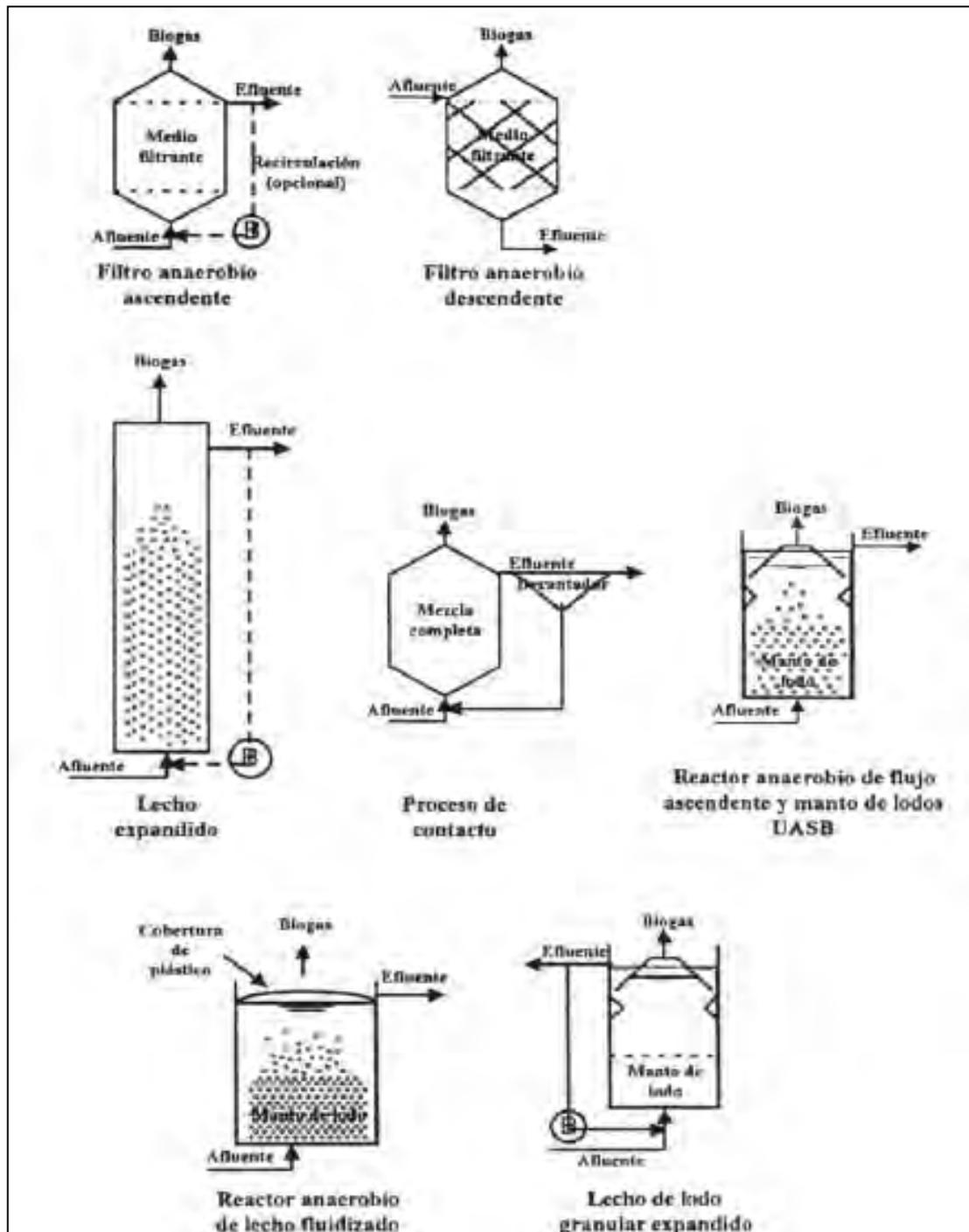


Figura N° 4.1: Sistemas anaerobios modernos de alta carga

Fuente: [Van Handel y Lettinga, 1994]

4.2.3 REACTOR UASB

Es una unidad de tratamiento biológico del tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar, haciendo ingresar el afluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo de la unidad. El agua residual que ingresa asciende, atravesando por un manto de lodos conformado por microorganismos de tipo anaerobio. En la parte superior existe un separador de fases (sólido-líquido-gas), que facilita la separación de la fase líquida y gaseosa, de modo que el efluente clarificado sale hacia el pos tratamiento. Los tiempos de permanencia son relativamente cortos. Los parámetros de diseño usualmente empleados para el cálculo de las dimensiones de la unidad se dan en el siguiente cuadro (Ver cuadro N°4.2)

Cuadro N° 4.2: Principales parámetros de diseño para reactor UASB

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

Fuente: [SINIA,2009]

Los fundamentos de los reactores "U.A.S.B." (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) fueron concebidos durante los años 1970, por el profesor Gatzke Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda. Esta sigla se refiere a los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente o RAFA. (Ver figura 4.2).

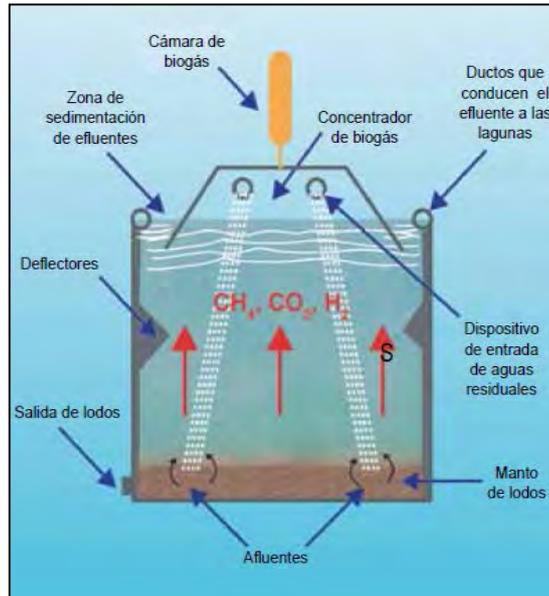


Figura N° 4.2: Reactor UASB

Fuente: [SINIA,2009]

El reactor UASB representa un gran avance en el tratamiento anaerobio, debido a que puede tolerar cargas orgánicas altas frente a otros sistemas. Además, tiene la ventaja de que el lodo floculento, después de un tiempo, se convierte, en determinadas condiciones aplicando altas cargas orgánicas y según el tipo de sustrato, en lodo granular, que presenta mayor contacto con el agua residual, mayor estabilidad y acepta mayor velocidad de carga orgánica. [Ligero y Soto, 2002; Singh y Viraraghavan, 1999]. Las ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio (Ver cuadro N° 4.3)

4.3 PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIO EN REACTOR UASB

Para que el proceso de la digestión anaerobia tenga lugar con éxito es necesaria la intervención de un gran número de microorganismos, bajo unas condiciones ambientales determinadas, actúan en una serie de etapas y reacciones muy específicas. Así cada etapa es realizada por bacterias específicas a las mismas, se distinguen 4 etapas (Ver figura 4.3):

Cuadro N° 4.3: Ventajas y desventajas del tratamiento anaerobio

Ventajas	Desventajas
<p>1. Ahorro considerable en costes de operación, ya que no se requiere energía para aireación; por lo contrario se produce energía en forma de metano gas.</p> <p>2. El proceso soporta altas cargas hidráulicas y orgánicas. Por lo que la tecnología a aplicar será más compacta y se reducirá el volumen de las etapas de pos tratamiento.</p> <p>3. La tecnología es de simple construcción y operación, siendo pues tecnología de bajo coste.</p> <p>4. Los sistemas pueden ser aplicados en cualquier parte y a cualquier escala, puesto que la energía requerida es mínima, permitiendo así la aplicación de sistemas descentralizados, lo que conlleva a ahorros significativos en costes de inversión de sistemas colectores.</p> <p>5. La producción de lodo en exceso es baja, además el lodo está bien estabilizado y es de fácil secado. Por lo que el lodo no requiere pos tratamientos costosos.</p> <p>6. Los nutrientes disponibles (N y P) son conservados, lo que proporciona un alto potencial en re adío acuicultura.</p>	<p>1. Las bacterias anaerobias (particularmente las metanogénicas) son muy susceptibles de inhibición por un gran número de compuestos.</p> <p>2. Si no se cuenta con el lodo adaptado, el proceso de puesta en marcha es relativamente lento.</p> <p>3. El efluente procedente de la digestión anaerobia normalmente requiere de un adecuado post-tratamiento para cumplir los límites de vertido.</p> <p>4. Una cantidad considerable de biogás producido, por ejemplo metano y sulfuro de hidrógeno permanece en el efluente, especialmente para aguas residuales de baja carga.</p> <p>5. Tecnología establecida en clima tropical, pero en vías de desarrollo a temperaturas inferiores a 20°C.</p>

Fuentes: (Lettinga et al, 1993.;Schellinkhout, 1993; Zeeman y Lettinga, 1999; Foresti, 2001; Gijzen, 2001; Lettinga, 2001)

A) Primeramente los componentes de alto peso molecular, tales como proteínas y polisacáridos, son degradados en sustancias solubles de bajo peso molecular tales como aminoácidos y azúcares, conociéndose esta etapa como etapa **hidrolítica**.

B) Seguidamente, los compuestos orgánicos son convertidos en ácidos grasos en la etapa denominada etapa **acidogénica**, en la cual baja el pH del sistema.

C) Posteriormente, estos ácidos de cadena larga (ácido propanoico, butanoico y otros) se degradan a ácido acético. Esta fase se denomina etapa **acetogénica**.

D) Por último, el ácido acético se convierte en metano y dióxido de carbono, en la denominada etapa **metanogénica**. El metano también se puede producir a partir de hidrógeno y dióxido de carbono, así como también de metanol y metilaminas. También se pueden producir pequeñas cantidades de nitrógeno (procesos de nitrificación-desnitrificación) y sulfuro de hidrógeno (procesos de desulfatación). El conjunto de todos los gases originados en la digestión anaerobia se conoce como biogás.

Debido a la gran diversidad de microorganismos que intervienen en el proceso anaerobio, existen multitud de parámetros que influyen en el comportamiento de cada grupo microbiano. Por lo tanto, para tener un desarrollo completo del proceso global, se debe realizar una optimización de cada una de las etapas que se llevan a cabo. Esta optimización individual es en la mayoría de las ocasiones, una tarea difícil de realizar. De esta manera, surge la posibilidad de realizar el proceso anaerobio en una o doble etapa, según sean las condiciones de operación. El tratamiento anaerobio tiene un efecto limitado en ciertos contaminantes, tales como nutrientes (nitrógeno y fósforo), bacterias fecales, los factores que pueden afectar el proceso son los siguientes: [Ramón Espinoza,2010]

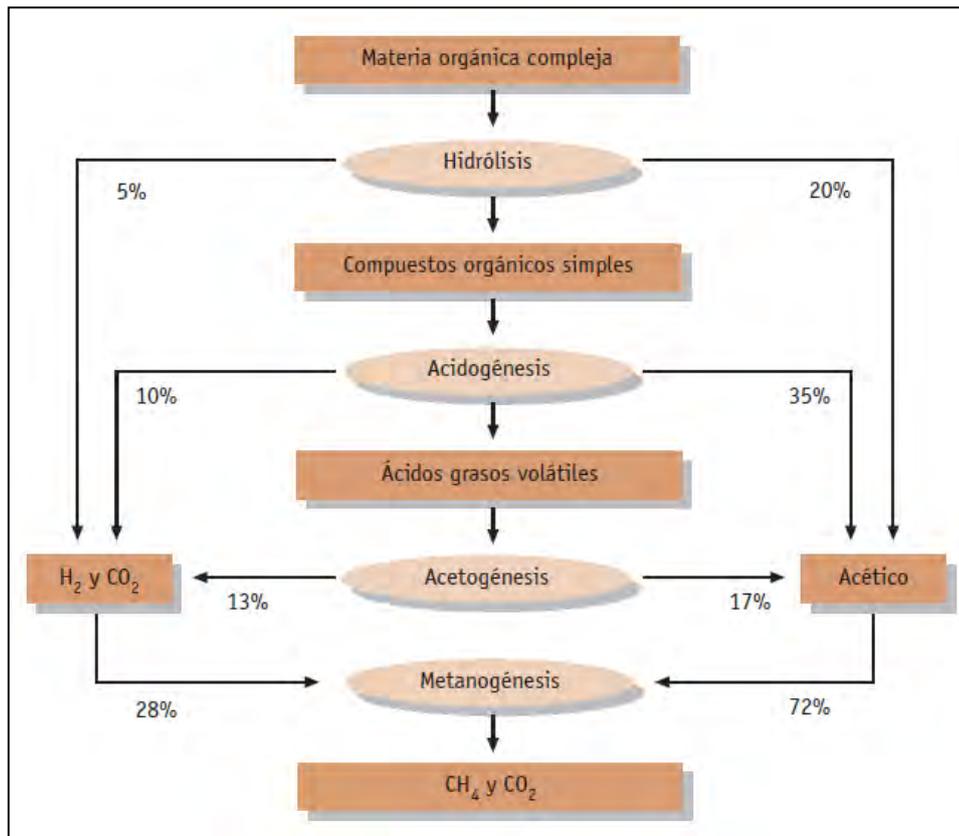


Figura N°4.3: Esquema de ruta de degradación anaerobia
Fuente: [CITME, 2006]

4.3.1 FACTORES DE INFLUENCIA EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

a) INFLUENCIA DEL POTENCIAL REDOX

Como ya se indicó, las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas, lo que implica que hay que mantener el potencial por debajo de -300mV . Si no se consiguen estas condiciones evitando la entrada de oxígeno, se añaden pequeñas cantidades de compuestos reductores en la alimentación del reactor.

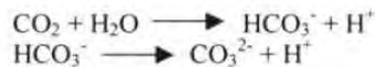
b) INFLUENCIA DEL PH

El valor de pH y su control está muy relacionado con la alcalinidad en el medio y el dióxido de carbono disuelto. Por otro lado, en el lodo existen gradientes de pH que originan microambientes en el que el pH puede ser diferente del medido en el líquido, hidrolíticas

entre 7.2 y 7.4; acidogénicas en el entorno de 6; acetogénicas y las metanogénicas entre 6.5 y 7.5 [Iema et al., 1992]

c) INFLUENCIA DE ALCALINIDAD

La alcalinidad total en mg CaCO₃/L da una medida de la capacidad tampón del medio y por tanto de la estabilidad del sistema frente a cambios moderados de pH. El valor recomendable de la alcalinidad total puede oscilar mucho según distintos autores, indican que una alcalinidad entre 220 y 390 mg CaCO₃/L [Van Haandel y Lettinga (1994)]. El sistema fundamental que controla el pH en un digester anaerobio es el dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato. Las concentraciones de estas especies están relacionadas por las siguientes ecuaciones:



d) INFLUENCIA DE NUTRIENTES

Una de las ventajas del tratamiento anaerobio es la baja necesidad de nutrientes debido a su reducido crecimiento celular. Para hacer la estimación de las cantidades de nitrógeno y fósforo necesarias, hay que conocer la producción celular por unidad de sustrato metabolizado y la composición celular. En los afluentes en los que no son suficientes los nutrientes que agregan, se añaden sales de amonio y orto-fosfato para suministrar el nitrógeno y el fósforo necesarios respectivamente. También es necesario la existencia de un elevado número de elementos químicos en concentraciones traza. Pero, normalmente, debido a la baja demanda de nutrientes, éstos no suponen un problema en la eficacia del proceso.

e) INFLUENCIA DE TÓXICOS E INHIBIDORES

Sustancias tóxicas son:

1. Productos intermedios o finales de las reacciones metabólicas (H_2 , ácidos grasos volátiles, H_2S ; NH_3)
2. Sustancias que se introducen al reactor (oxígeno, otros)

3. Sustancias que se encuentran en la alimentación y se introducen(fenoles, organoclorados, etc)

4.4 PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN REACTOR UASB

Los parámetros de operación para un reactor UASB a continuación se detallan los principales:

4.4.1 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE CAUDAL Y CARGA ORGÁNICA

Las aguas residuales domésticas se caracterizan por fuertes fluctuaciones en la carga orgánica y en el caudal. Así tenemos como la carga orgánica puede variar en un factor de 2-10 en pocas horas. Por otra lado, el caudal de aguas residuales domésticas también puede variar en un factor de 4 a lo largo del día. Esto depende sobre todo del tamaño de población y del tipo de colector. Las bacterias anaerobias son sensibles y conservativas, por lo que no tienen capacidad de adaptarse rápidamente a cambios tan bruscos de caudal y carga orgánica. Por lo tanto, ante estos cambios, las bacterias no trabajan a su potencial real, obteniéndose efluentes de baja calidad. En la práctica, operando con grandes colectores se amortiguan estos cambios bruscos de caudal y carga orgánica.

4.4.2 INFLUENCIA DE TEMPERATURA

La temperatura influye fundamentalmente en la actividad de los microorganismos, a medida que aumenta la temperatura aumenta la actividad y por tanto la velocidad del proceso, hasta llegar al óptimo en cada rango. En la digestión anaerobia se distinguen tres rangos de operación en relación a la temperatura:

- a) Rango psicrófilo (5-20°C)
- b) Rango mesófilo (20-40°C)
- c) Rango termófilo (45-70°C)

La elección del rango de temperatura está definido por el equilibrio entre los criterios: economía del proceso (gasto en calentador) y eficacia en el proceso. De ahí que el más experimentado sea el rango mesófilo, que es el que ofrece mejor equilibrio gasto/tratamiento para efluentes de media y alta carga. Se trabaja en rango termófilo en el caso de efluentes que salen a elevada temperatura, más de 50°C. Hay bacterias muy sensibles a los cambios de temperatura, especialmente las metanogénicas, influyendo posteriormente en el rendimiento del proceso. En algunos casos un cambio de 5°C puede suponer un 10% en el porcentaje de eliminación de DQO (Lema et al., 1992). Las condiciones de baja temperatura en el rango psicrófilo causan velocidades de crecimiento muy bajas. Debido al alto tiempo de duplicación de los microorganismos psicrófilos de aproximadamente 35 días, el cual es 3,5 y 9 veces más alto que en el caso de los microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente, las velocidades de conversión en los reactores son mucho más lentas a baja temperatura.

4.4.3 VELOCIDAD DE FLUJO ASCENDENTE

La velocidad de flujo ascendente afecta a la retención de lodos, ya que se basa en las características de sedimentación de los agregados de lodos, también debe ser lo suficientemente alto como para proporcionar un buen contacto entre el sustrato y biomasa, como debe ser suficiente para alterar las bolsas de gas se reunieron en el lecho de lodo para facilitar la separación de burbujas de gas de la superficie de biomasa.

4.4.4 TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (TRH)

El TRH depende de cada diseño, características de operación y características de las aguas residuales a tratar, El efecto de la TRH podría manifestarse como resultado de su relación directa con la

velocidad de flujo ascendente de líquido, y también a los sólidos el tiempo de contacto en el reactor y por lo tanto la posibilidad de sólidos se unen a o a ser atrapado en el lecho de lodo, operando a menor TRH hay mayor sustrato disponible para las bacterias metanogénicas y se estimulaba el crecimiento bacteriano y por lo tanto mayor producción de biogás.

4.4.5 TIEMPO DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS (TRS)

Se ajusta según las condiciones en las que opera el reactor anaerobio, pudiendo operar como reactor hidrolítico-acidogénico o como reactor metanogénico. La operación de reactores anaerobios a distintos TRS condiciona el desarrollo de una u otra etapa anaerobia. Según Miron et al (2000), operando a un TRS menor o igual a 8-10 días el reactor trabaja en condiciones acidogénicas y si opera a mayor TRS de 8-10 días opera en condiciones metanogénicas. Estas conclusiones se llevaron a cabo al estudiar el efecto del TRS en la digestión de lodos primarios en reactores de mezcla completa a 25°C. Se observó que la hidrólisis de lípidos y carbohidratos aumenta al aumentar el TRS, mientras que la hidrólisis de proteínas solo ocurre en condiciones metanogénicas. Hay que indicar que bajo condiciones metanogénicas la hidrólisis fue la etapa limitante de todo el proceso de digestión. [Miron et al., 2000].

En otras investigaciones se indica el TRS aplicado para llegar a obtener la optimización completa del sistema estudiado. [Zeeman y Lettinga, 1999] citan que para temperaturas inferiores a 15°C en un (Digestor de mezcla completa) CTRS, es necesario un TRS superior a 100 días para retener suficiente actividad metanogénica en el reactor, sin embargo si estas se operan a mayor temperatura el TRS disminuye, para una temperatura de operación de 25 y 35°C se tienen TRS 15 y 10 días respectivamente. [Nidal Mahmoud,2002]

Por tanto:

- ✓ El TRS y la temperatura tienen una influencia significativa en la hidrólisis de proteínas, hidratos de carbono y lípidos.
- ✓ La metanogénesis es el paso limitante de la velocidad de todo el proceso de digestión
- ✓ La biodegradabilidad de los lodos de depuradora principal no muestra dependencia de la temperatura en el rango de 15 - 35 ° C.
- ✓ La velocidad de hidrólisis constante de todo tipo de sustratos sólidos se ve afectada de manera significativa por temperatura. Esta dependencia puede ser descrita por la ecuación de Arrhenius.

$$k = Ae^{-E/RT}$$

Donde:

k: Constante de la velocidad de reacción (d-1)

T: La temperatura absoluta en grados Kelvin(° K)

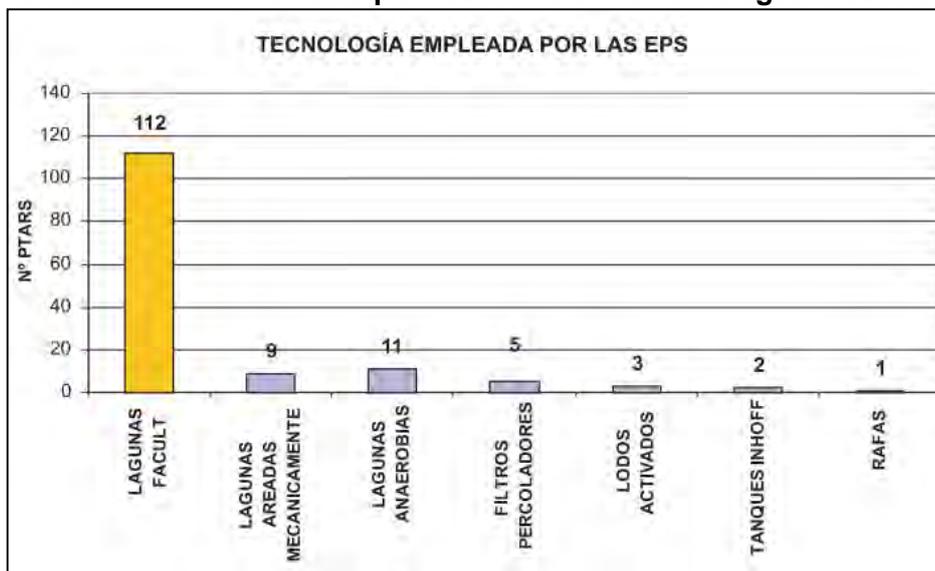
R: La constante de los gases ideales (J.mole⁻¹ ° K-1.)

A La constante de Arrhenius (d-1);

E: activación energía (kJ.mole⁻¹)

4.5 OTROS TIPOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los principales diseños de estructuras hidráulicas existentes, para la remoción de materia orgánica mediante tratamiento biológicos en el Perú según el informe de SUNASS (Ver cuadro N° 4.4).

Cuadro N° 4.4 Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Información recopilada por la SUNASS de las EPS en setiembre 2007

El inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales en las EPS de SUNASS de 2007 muestra que de las 143 PTAR, 92% se compone de lagunas de estabilización en sus diferentes variedades de comportamiento biológico (anaerobias, facultativas o aireadas), siendo las lagunas facultativas las más empleadas, 78% en 112 PTAR, en cuanto al resto de tecnologías, solo existen cinco PTAR que operan con filtros percoladores, tres con lodos activados y una con un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

A continuación una descripción de las tecnologías existentes y nuevas alternativas de tratamiento biológico:

4.5.1 TANQUES IMHOFF

Consiste en un tanque de dos pisos en el cual la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, y la digestión y acumulación de lodos en el comportamiento inferior (Ver figura N°4.4). Los tanques Imhoff son usados ampliamente antes de que se hiciera común la digestión con calentamiento de tanques separados, estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran mantenimiento, y la operación en la remoción diaria

de espumas en su evacuación por el orificio más cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digestor de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente al lecho de secado. [Tchobanoglous&Crites, 1997]

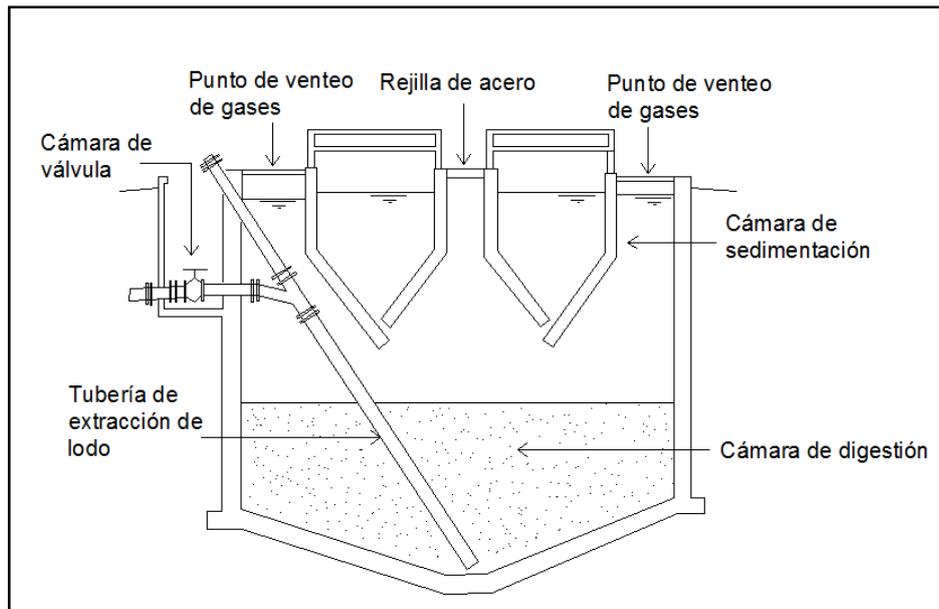


Figura N° 4.4: Vista transversal de tanque Imhoff

Fuente: [Tchobanoglous&Crites, 1997]

4.5.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Son las más usadas y versátiles su profundidad oscila entre 1.5 a 2.5m. El tratamiento se desarrolla por acción de bacterias aerobias en la capa superior y bacterias anaerobias o anóxicas en la capa inferior, dependiendo de la mezcla que se induce por acción del viento. Los sólidos sedimentables se depositan en el fondo de la laguna, las dos capas que se forman en una laguna facultativa están representadas por el esquema (Ver figura N° 4.5), el aporte de oxígeno se logra por fotosíntesis y por reaireación natural superficial. Las lagunas facultativas pueden

funcionar como lagunas con descarga controlada, lagunas de retención total, o como unidades de almacenamiento para un tratamiento posterior sobre el suelo. [Tchobanoglous&Crites, 1997]. En del departamento de puno la mayoría de provincias tiene como tratamiento lagunas de estabilización, ejemplo en Puno capital la PTAR-Espinar (Ver fotografía 4.1)

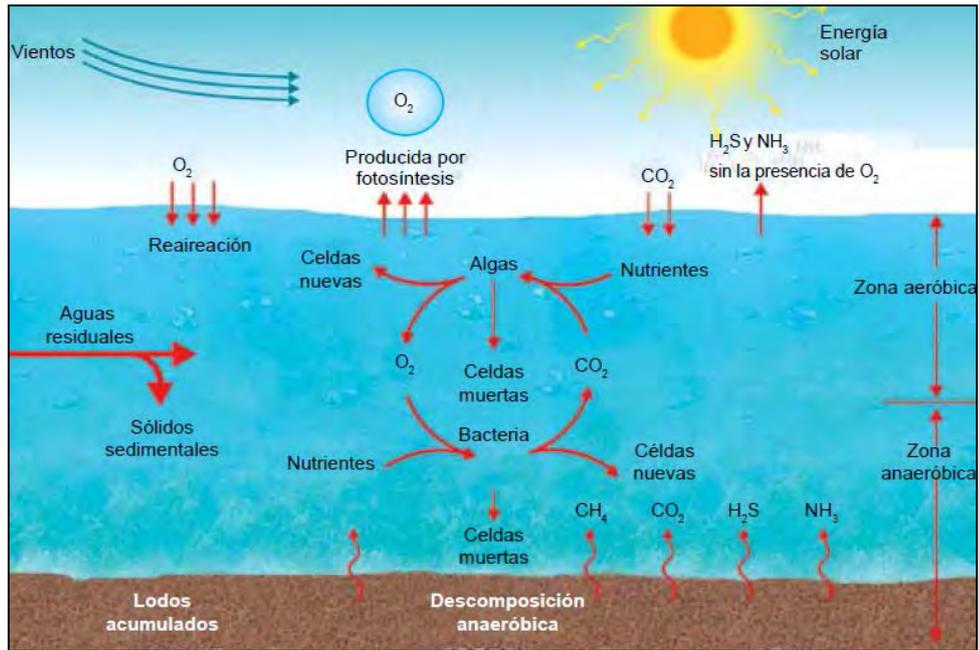


Figura N° 4.5: Diagrama de las interacciones en una laguna facultativa
Fuente: [Tchobanoglous&Crites, 1997].

Fotografía N° 4.1: Laguna de estabilización de la PTAR-Espinar-PUNO



Fuente: [Propia]

4.5.3 LAGUNAS AIREADAS

Históricamente, la aeración en lagunas de estabilización fue empleada en climas con cuatro estaciones marcadas y principalmente en invierno, para impedir el crecimiento de algas y otras condiciones producidas por sobrecarga orgánica y variaciones estacionales de temperatura, de esta experiencia se encontró que las lagunas aireadas mantenían una remoción aceptable de demanda bioquímica de oxígeno soluble y con períodos de retención más cortos que las lagunas facultativas sin aireación. Además el uso de las lagunas aireadas evidencio la ventaja de la utilización de menor área de terreno, debido a que los requisitos de superficie para este tipo de proceso son normalmente menores que el de las lagunas facultativas convencionales. [Ramón Espinoza,2010]

A) LAGUNA AIREADA MEZCLA PARCIAL

También denominas aieredas facultativas, son más profundas y pueden recibir mayor carga orgánica que una laguna facultativa recomendado para climas templados a cálidos. El suministro de oxígeno se realiza por medio de aireadores mecánicos flotantes o difusores sumergidos. Las lagunas aireadas tienen una profundidad que varía de 2 a 6m, y se diseñan con baja tiempo de retención (3 a 20 días). Su principal ventaja es que necesita menor área que otros sistemas de lagunas. La gran mayoría de sólidos no se mantienen en suspensión y se sedimentan en el fondo de la laguna, haciendo así innecesaria la instalación de un proceso adicional de disposición de lodos. [Tchobanoglous&Crites, 1997]

B) LAGUNAS AIREADAS MEZCLA COMPLETA

La presencia de algas no es aparente. Puede considerarse como un proceso incipiente de lodos activados, sin separación y recirculación de lodos. No habiendo recirculación, el período de retención es igual a la edad del lodo. Debido a que el efluente de este proceso contiene material sólido es necesario tener una laguna facultativa después de la laguna de mezcla completa (Ver figura N° 4.6).

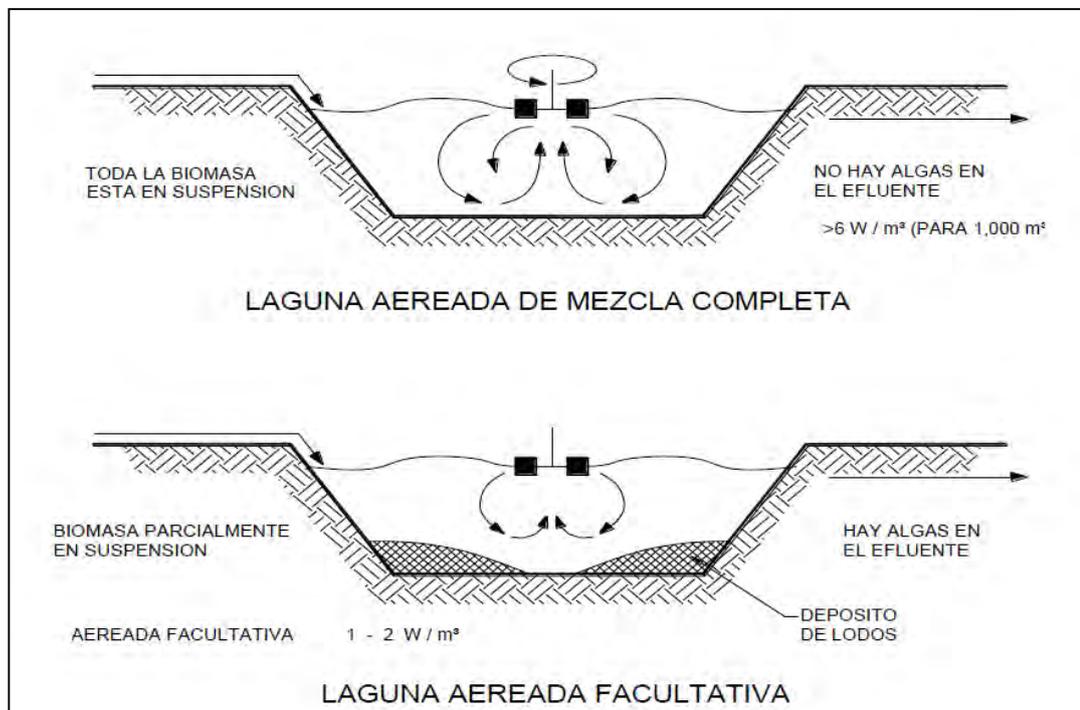


Figura N° 4.6: Laguna aerada de mezcla completa y mezcla parcial –para PTAR San Bartolo Lima
Fuente: Proyecto MESÍAS, 1998

4.5.4 LAGUNAS ANAEROBIAS

Se diseñan para el tratamiento de residuos líquidos con alto contenido de materia orgánica, generalmente aguas residuales de industrias ubicadas en zonas rurales apartadas. Estas lagunas no cuentan con zonas anaerobias, su profundidad oscila entre 5 y 10 metros y su tiempo de retención va de 20 a 50 días. Como

consecuencia de la generación potencial de malos olores, las lagunas requieren ser cubiertas o aisladas de zonas pobladas. [Tchobanoglous&Crites, 1997]

4.5.5 FILTROS PERCOLADORES

El filtro percolador consiste en un reactor en el que se coloca al azar un medio sólido de soporte, cuya superficie servirá para el crecimiento de la biopelícula. Se requiere además un sistema de distribución del agua residual sobre el medio y otro para conducir el efluente (Ver figura 4.7). Las características más importantes del medio de soporte son su área superficial específica y la porosidad; la primera es la medida del espacio en donde puede crecer la biopelícula y la segunda es una medida de los vacíos a través de los cuales puede pasar el agua residual y el aire para la ventilación de los gases producidos. En los filtros percoladores se usa comúnmente roca triturada como medio de soporte debido a que es fuerte, durable y químicamente resistente para el crecimiento de la biopelícula. Con tamaño de roca de 50 a 100 mm se consigue un área superficial específica de 50 a 65 m²/m³, con porosidades de 40 a 50%. También se utilizan medios de soporte de plástico de formas variadas. Además existen medios de soporte modulares fabricados con madera o plástico. Las características de los materiales mencionados se muestran (Ver cuadro N° 4.5)

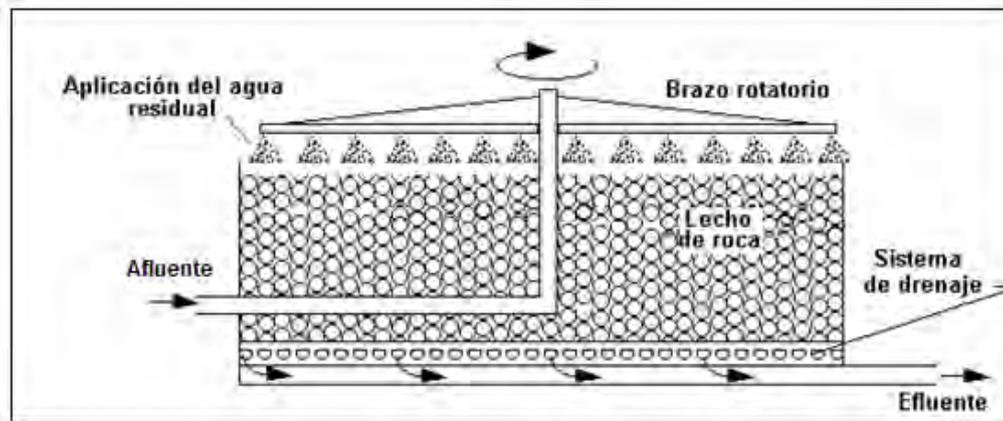


Figura N° 4.7: Esquema de la sección transversal del filtro percolador
Fuente: [Enrique Valdez, 2003]

Cuadro N°4.5: Características de los medios de soporte

MEDIO DE SOPORTE	TAMAÑO NOMINAL mm	MASA/UNIDAD DE VOLUMEN kg/m ³	ÁREA SUPERFICIAL ESPECÍFICA m ² /m ³	PORCENTAJE DE VACIOS
Roca de río				
Pequeña	25 - 65	1250 - 1450	55 - 70	40 - 50
Grande	100 - 120	800 - 1000	40 - 50	50 - 60
Escoria de alto horno				
Pequeña	50 - 80	900 - 1200	55 - 70	40 - 50
Grande	75 - 125	800 - 1000	45 - 60	50 - 60
Plástico				
Convencional	600 x 600 x 1200*	30 - 100	80 - 100	94 - 97
Superficie específica alta	600 x 600 x 1200*	30 - 100	100 - 200	94 - 97
Madera	1200 x 1200 x 500*	150 - 175	40 - 50	70 - 80

Fuente: [Melcaf&Eddy, 1985]

4.5.6 LODOS ACTIVADOS

Cuando se agita en presencia de oxígeno un agua residual previamente pasada por un sistema de tratamiento primario, se forman flóculos de lodo en el que se desarrollan muchas bacterias y organismos vivos, con lo que dichos flóculos se vuelven activos, oxidando y absorbiendo materia orgánica. De aquí que se

denomina lodo activado. Cuando se halla en buenas condiciones, este lodo y su carga de vida microscópica se posa rápidamente y arrastra consigo todos los sólidos en suspensión y gran parte de los que se hallan en estado coloidal. Los lodos sedimentados que contienen microorganismos vivos o activos, se regresan al reactor para incrementar la biomasa disponible y acelerar las reacciones.

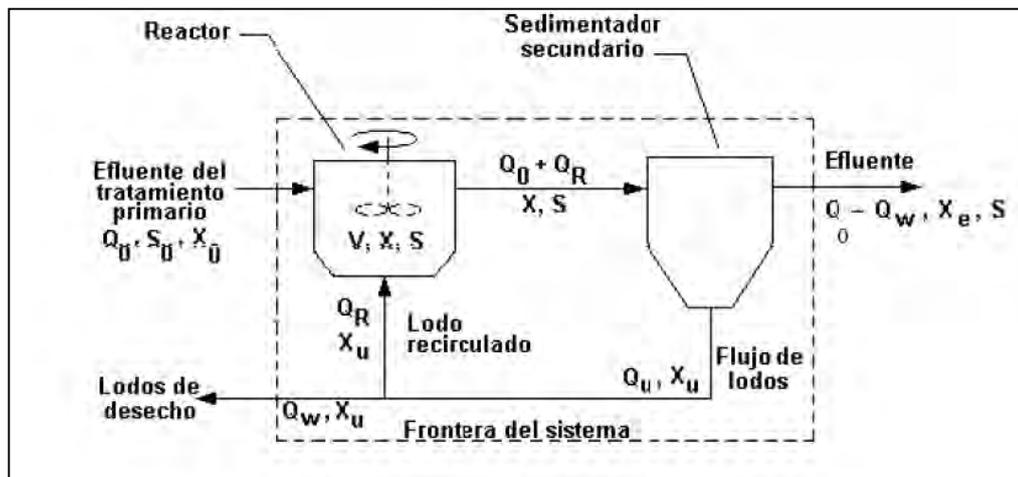


Figura N° 4.8: Sistema de lodos activados completamente mezclado
Fuente: [Melcaf&Eddy, 1985]

La mezcla completamente mezclado (Ver figura 4.8) o un proceso de flujo pistón (Ver figura N° 4.9) . [Enrique Valdez, 2003]

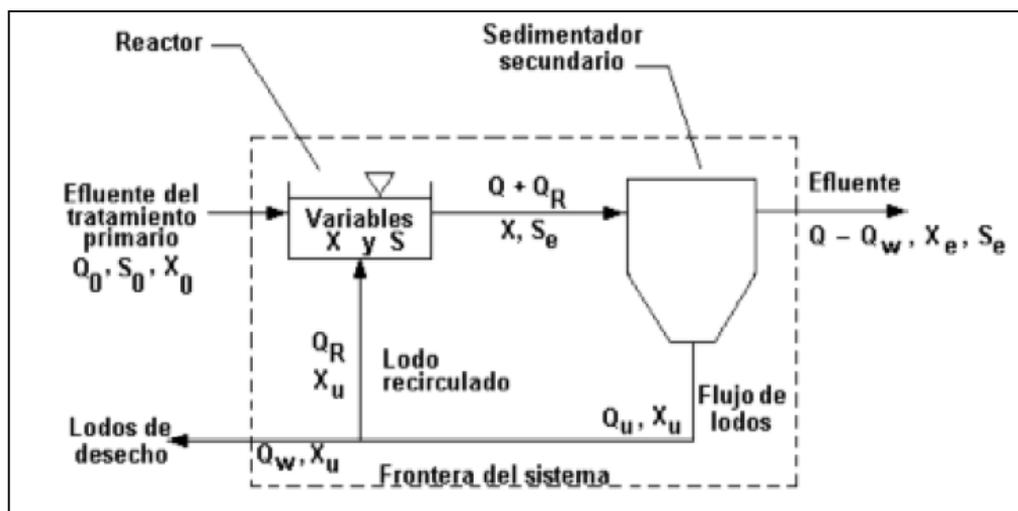


Figura N° 4.9: Sistema típico de lodos activados con reactor flujo pistón
Fuente: [Melcaf&Eddy, 1985]

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 UBICACIÓN DEL SISTEMA

El reactor UASB-Digestor a escala piloto se ubicó en el centro poblado de Salcedo a 5km de la PTAR-Espinar de la ciudad de Puno. (Ver fotografía N° 5.1). La planta de tratamiento de aguas residuales Espinar (PTAR-Espinar) de la ciudad de Puno se ubica cerca del lago Titicaca. Con el afluente de la PTAR se alimentó al reactor UASB-Digestor. (Ver fotografía N° 5.1)

Fotografía N° 5.1: Ubicación del reactor UASB-Digestor



5.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El reactor UASB-Digestor funcionó como tratamiento primario para el efluente con tratamiento preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales Espinar de la ciudad de Puno (PTAR-Espinar)

En la PTAR-Espinar, el afluente ingresa a la cámara de rejillas (Ver fotografía N° 5.2) solo tiene cámara de rejillas gruesa con espaciamiento entre barras de 30mm y barras de 10mm de espesor, luego es llevada al desarenador

cuyo controlador de velocidad es una canaleta Parshall, cuenta con dos desarenadores en paralelo y ambos funcionan(Ver fotografía N° 5.3), luego es repartido por varios ingresos a la laguna de estabilización, en cada punto de repartición existe un buzón, por uno de estos buzones se extrae muestra de agua residual para su tratamiento con el reactor UASB-Digestor a escala piloto, este efluente tratado es el producto de la investigación. (Ver figura N° 5.1)

Fotografía N° 5.2: Cámara de rejas en PTAR-Espinar(Puno)



El reactor UASB-Digestor a escala piloto consiste en un tanque de almacenamiento, una bomba peristáltica (con dos cabezales) impulsa caudal constante al reactor UASB y recircula un caudal tratado y una segunda bomba peristáltica (dos cabezales) recircula el lodo del digestor al UASB, finalmente el efluente tratado es recolectado por los vertederos y eliminado al alcantarillado (Ver fotografía N°5.4), también está el sistema de calentamiento para el digestor. (Ver fotografía N°5.5)

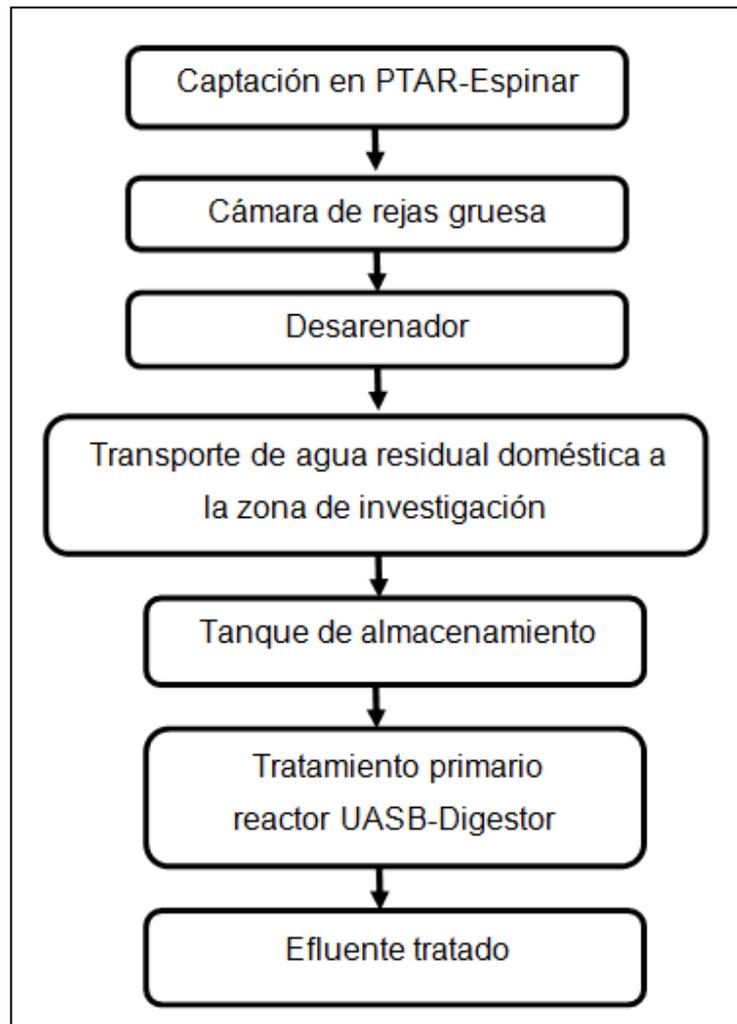


Figura N° 5.1: Diagrama de flujo de agua residual doméstica en la planta piloto reactor UASB-Digestor

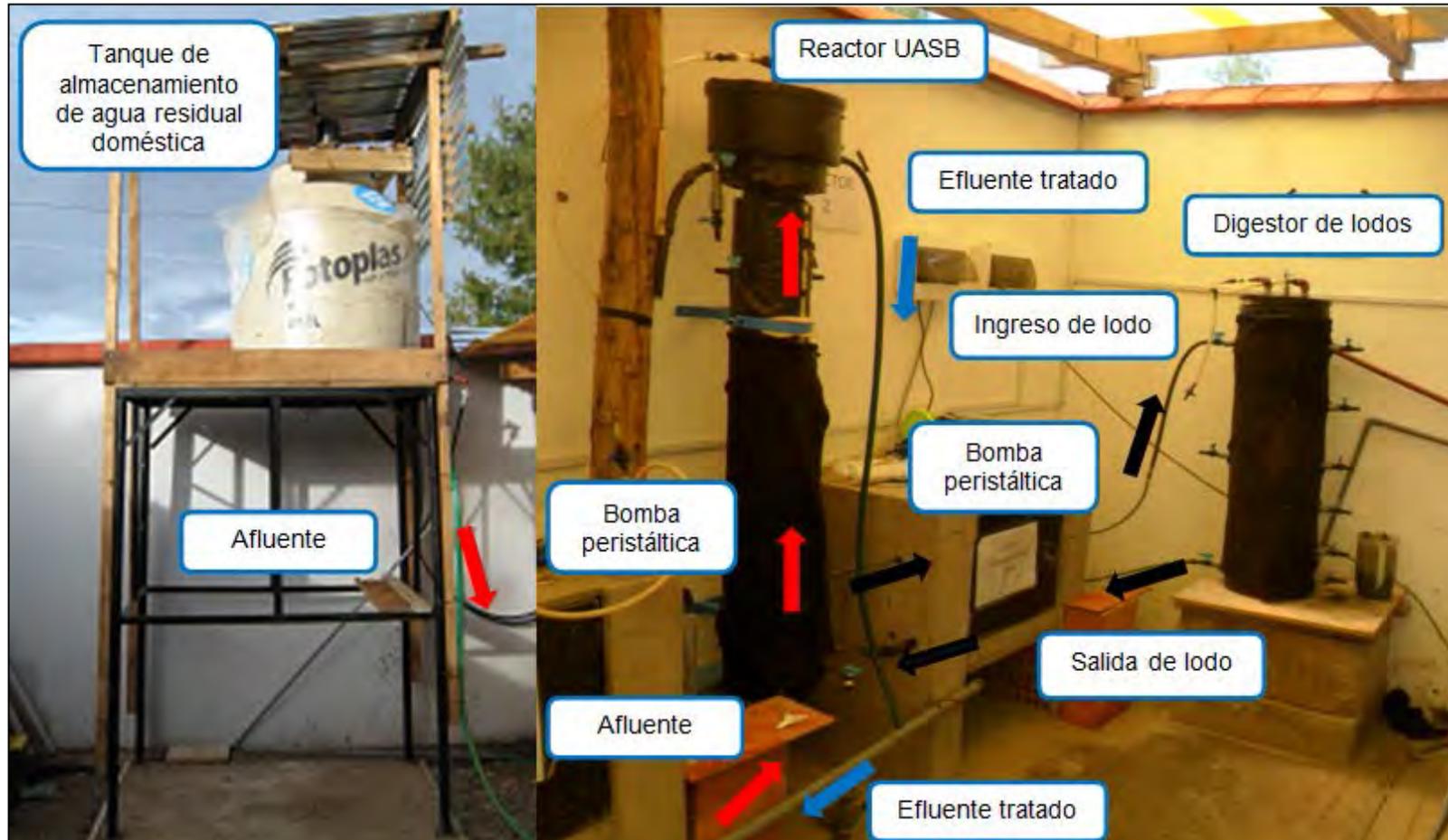
Las aguas residuales domésticas con pre-tratamiento (cámara de rejillas gruesas y desarenador) se transportan desde la PTAR-Espinar en tres cilindros de 200 litros, para llenar un tanque de 600 litros, encima del tanque se instaló un mezclador el cual se compone de un motor reductor y 2 planchas de PVC (paletas) dentro del interior del tanque para su agitación, su operación está controlado por un temporizador a una frecuencia programado de 15 minutos de encendido y 15 minutos apagado, durante las 24 horas, el sistema de alimentación al reactor UASB es por una manguera de 1/2" esta se conectan a otra manguera de 3/8", el caudal de ingreso al reactor UASB es controlado por una bomba peristáltica que impulsa un caudal constante, la misma bomba recircula el

caudal impulsado, la segunda bomba peristáltica traslada lodo del digestor de lodos al reactor UASB y al mismo tiempo en sentido inverso, esta bomba peristáltica es controlado por un temporizador programado a una frecuencia de 15 minutos encendido y 165 minutos apagado.

Fotografía N° 5.3: Desarenador en PTAR-Espinar(Puno)



El sistema de calentamiento para el digestor está compuesto de una bomba centrífuga de 0.5 HP que es controlada por un temporizador con una frecuencia programada de 15 minutos encendido y 105 minutos apagado durante las 24 horas, esta agua es impulsada al calentador, el agua caliente se conduce a un compartimento del digestor de lodos, este digestor es un reactor en forma cilíndrica por dentro contiene lodo y por fuera hay espacio para que pueda ingresar agua caliente, el suministro de gas permite que funcione el calentador, el agua enfriada sale por acción hidráulica al tanque de almacenamiento de 50 litros, con este sistema cerrado no hay pérdidas de agua, se instaló un rebose en el digestor de lodos como medidas de precaución, el digestor tiene un mezclador que se opera manualmente, con este manera de operar el lodo se mantiene siempre a una temperatura de 25°C-35°C. (Ver figura 5.2)



Fotografía N° 5.4: Vista del almacenamiento de agua residual doméstica y reactor UASB-Digestor



Fotografía N° 5.5: Vista del sistema de calentamiento para el Digestor de lodos

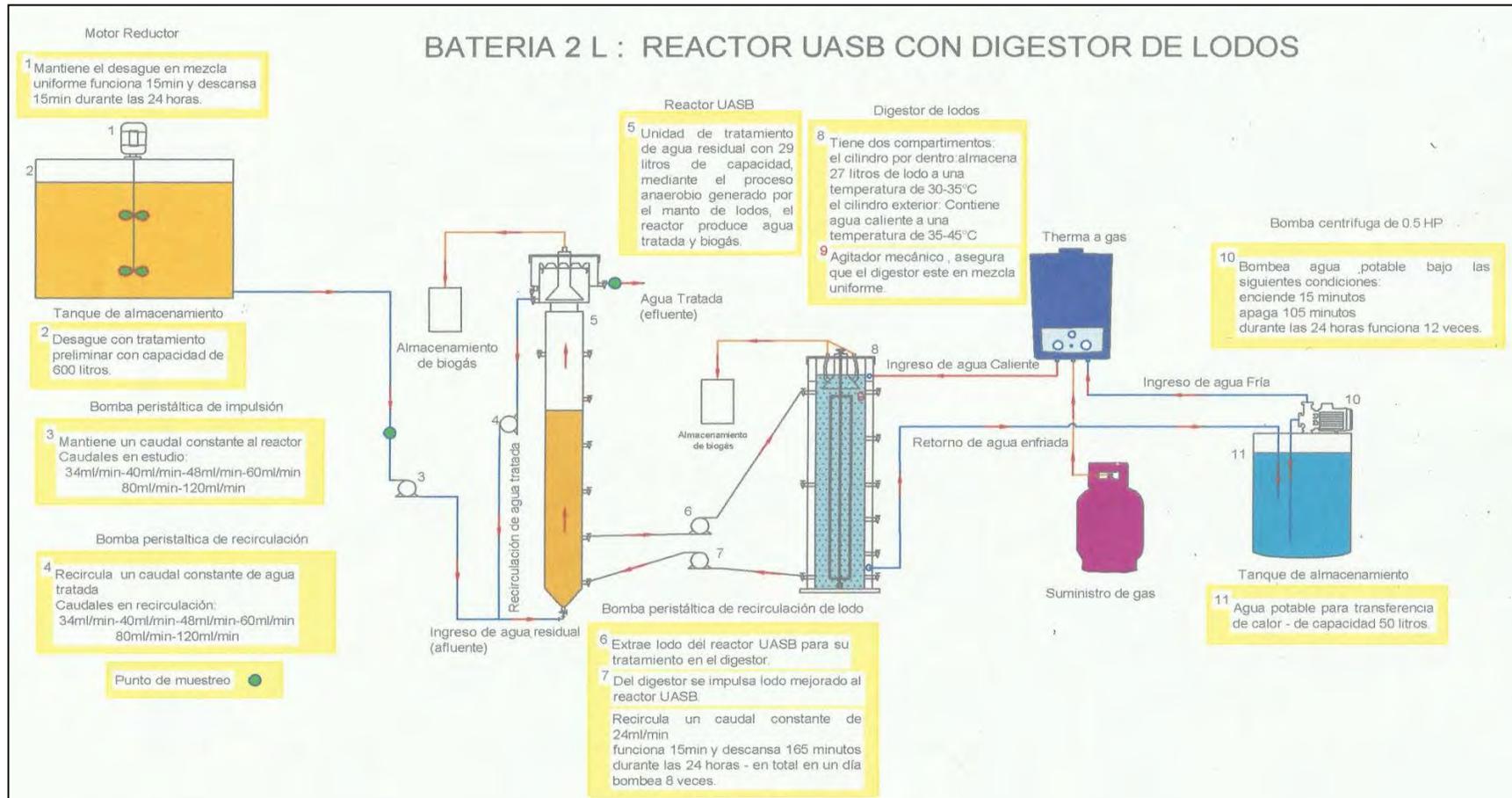


Figura N°5.2: Esquema completo del reactor UASB-Digestor y sistema de calentamiento

Fuente: Elaboración propia

5.3 MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Para construir el reactor UASB-Digestor se necesitó los siguientes materiales. (Ver figura 5.3)

A) SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

- ✓ Tanque de 600 litros.
- ✓ Temporizador analógico.
- ✓ Mezclador: motor reductor con dos paletas.
- ✓ 3m de manguera de 1/2".
- ✓ 2m de manguera de 1".
- ✓ 5m de manguera de silicona de 3/8"
- ✓ 13 válvulas de 1/4".
- ✓ 2 válvulas de 1/2" .
- ✓ 01 reducción de 1/2" x 3/8".
- ✓ 1 Codos de 90°.
- ✓ 2 Abrazaderas de 1/2" y una abrazadera de 1".

B) SISTEMA DE IMPULSIÓN

- ✓ Bomba peristáltica con dos cabezales
- ✓ 1m de Manguera Masterflex 3/8"

C) REACTOR UASB

- ✓ Reactor UASB de acrílico de espesor 3/8" , equipado con válvulas de 1/2".
- ✓ Separador de fases, fabricado con una reducción de 4" a 2" y embudo de plástico de 15cm, moldimix.
- ✓ 2 m de mangueras de 3/8.
- ✓ 1 Bolsa para acumular el biogás, se utilizó bolsas que contiene el agua San Luis de 20 litros.

D) DIGESTOR DE LODOS

- ✓ Digestor de acrílico con doble pared, de espesor 1 / 4", equipado con válvulas de 1/2".
- ✓ Separador de fases, fabricado de embudo de diámetro 15cm, pegamento de tubos PVC.
- ✓ 2m de Mangueras de 3/8".
- ✓ Temporizador analógico

- ✓ 1 Bolsa para acumular el biogás, se utilizó bolsas que contiene el agua San Luis de 20 litros.

E) SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LODO

- ✓ 1 Bomba peristáltica de dos cabezales.
- ✓ Temporizador analógico.
- ✓ 2 m de manguera masterflex de 3/8"

F) SISTEMA DE CALENTAMIENTO

- ✓ 1 bomba centrifuga de 0.5 HP
- ✓ Un cilindro de PVC de 50 litros
- ✓ Válvula check
- ✓ 1m Tuberías de 1"
- ✓ 2 codos de 1"
- ✓ 3 codos de 1/2"
- ✓ 3 válvulas de 1/2" con boquilla para mangueras.
- ✓ Reducción de 1" a 1/2"
- ✓ 4 unidades de Unión universal.
- ✓ Un filtro.
- ✓ 2m de tubería de 1/2"
- ✓ Un balón de gas con rosca de 10kg.
- ✓ Una terma de 6 litros, funciona a gas
- ✓ Un temporizador analógico.



Figura N° 5.3: Materiales usados para instalar el reactor UASB-Digestor

5.4 DISEÑO DEL REACTOR UASB

5.4.1 TIEMPO DE RETENCIÓN

Los tiempos de retención a estudiar en esta investigación son los siguientes (Ver cuadro 5.1)

Cuadro N°5.1: Tiempos de retención hidráulica a investigar

TRH	TRH-1	THR-2	TRH-3	THR-4	TRH-5	TRH-6
Horas	14	12	10	8	6	4

Se toma este rango de TRH por considerar que el digestor de lodos tendrá efecto en la mejora de eficiencia en el reactor UASB, se comportará de manera similar a los climas tropicales, por eso no se consideró tiempos de retención más de 20 horas que son normalmente para localidades con temperaturas bajas, en caso de Puno.

A) ALTURA DEL REACTOR UASB

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

Altura útil de reactor : 1.4m

B) DIMENSIONES DEL REACTOR

Al elegir la forma geométrica cilíndrica equivalente a una tubería de 6", por lo tanto nuestro diámetro debe ser 0.15m. Para la zona del deflector debe consideramos un traslape de 2cm por lo tanto el diámetro de transito del traslape debe ser 0.11m, la zona de sedimentación albergara al separador de fases(S-L-G), el embudo comprado tiene un diámetro de 0.17m, por lo tanto el diámetro de zona de sedimentación debe ser 0.23m dejando un espacio en forma de anillo de 3cm en ambos lados (Ver figura 5.4), la sección de entrada para su distribución uniforme es de forma cónica, con una altura útil de 8cm y teniendo un diámetro de 0.15m. Respecto

a las altura de una de sedimentación, el separador de fases debe tener una altura entre 15-20% altura útil, seleccionamos $15\%(1.4m)=0.20m$, por lo tanto la zona de digestión tendrá una altura útil de 1.20m, altura del deflector 4cm (Ver cuadro N° 5.2).

Cuadro N° 5.2: Resumen de medidas del reactor UASB a escala Piloto

Partes del UASB	Diámetro(D)	Altura(h)	Forma	Fórmula	Volumen(m3)
Zona digestión	0.15m	1.20m	Cilíndrica	$V = \left(\frac{(D^2)*\pi}{4}\right) * h$	0.0212
Zona de sedimentación	0.23m	0.16m	Cilíndrica	$V = \left(\frac{(D^2)*\pi}{4}\right) * h$	0.0066
Zona deflector	0.11m	0.04m	Cilíndrica	$V = \left(\frac{(D^2)*\pi}{4}\right) * h$	0.0004
Zona de ingreso	0.15m	0.08m	Cónica	$V = \left(\frac{(D^2)*\pi}{4}\right) * \frac{h}{3}$	0.0005
Volumen total					0.0287≈ 29Litros

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

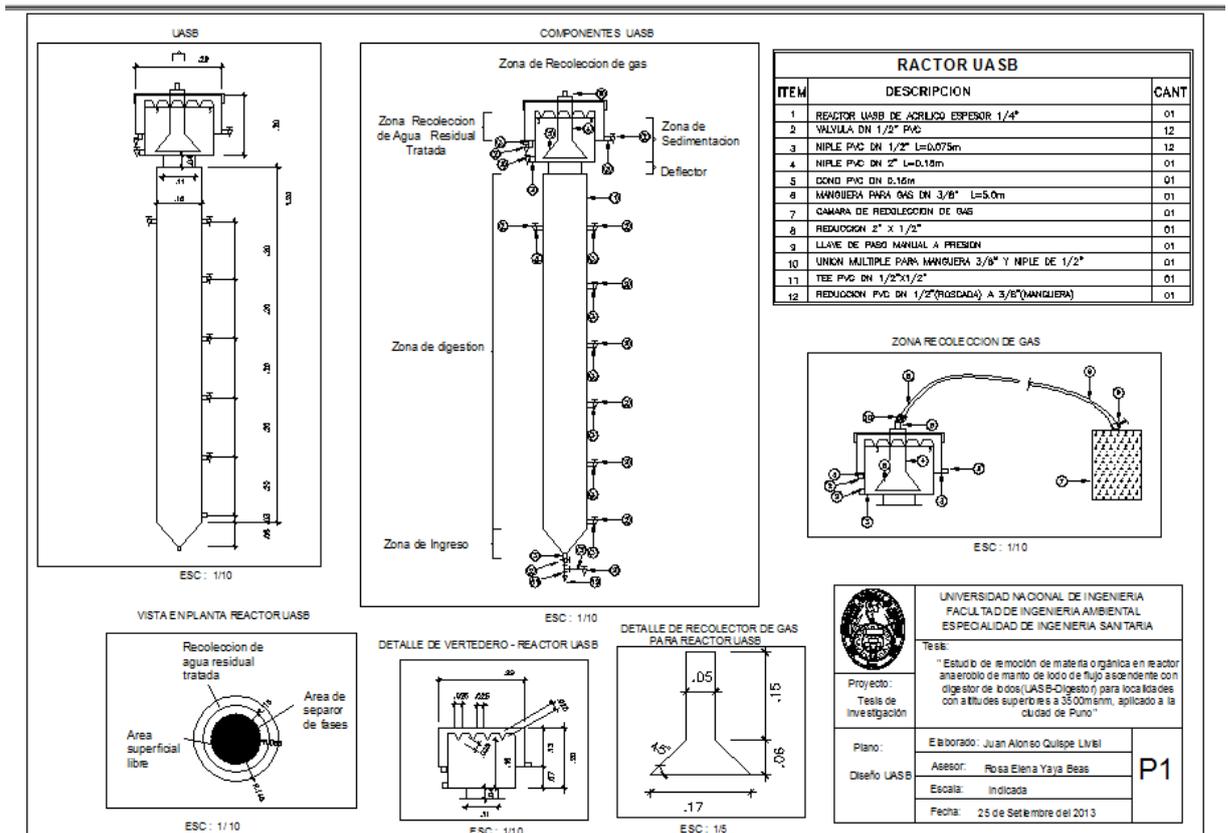
5.4.2 CAUDALES DE DISEÑO

En base al volumen del reactor y con los TRH asumidos podemos hallar para cada TRH su respectivo caudal de operación y programar dichos caudales en la bomba peristáltica. (Ver cuadro N°5.3)

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

Cuadro N° 5.3: TRH y Caudal de operación a investigar

TRH(h)	Caudal(ml/min)	Caudal(L/día)
14	34.0	49.0
12	40.0	57.6
10	48.0	69.1
8	60.0	86.4
6	80.0	115.2
4	120.0	172.8



Plano N° 5.1: Diseño reactor UASB

5.5 DISEÑO DEL DIGESTOR DE LODOS

Para el diseño del digestor de lodos, según la bibliografía nos recomienda tomar un TRH entre 10 a 27 días (Juan Rodriguez, 2003), esto está sujeto a la temperatura del lodo, nuestro sistema estará en un rango de 25-35°C, el TRH del digestor se fijara con el caudal de recirculación en la etapa de arranque del digestor. El volumen total y activo 31.4 litros y 26.5 litros (Ver plano P2), para este volumen total se selecciona un diámetro de 0.2m y altura de 1 metro, considerando útil 90cm, para el cilindro concéntrico consideramos un diámetro útil de 0.26m, quedaría un anillo de 3cm, el separador de fases es un embudo de 0.15m de diámetro (Ver cuadro N° 5.4), para que este reactor funcione a mezcla completa CRST) es necesario un mezclador mecánico el cual funcionara manualmente.

Cuadro N° 5.4: Dimensiones del Digestor de lodos a escala piloto

Digestor	Diámetro	Altura	Fórmula	Forma	Volumen (m3)
Zona de digestión	d=0.20m	H=1.0 m	$V = \left(\frac{(d^2) * \pi}{4} \right) * h$	Cilíndrica	0.03142
Zona de agua caliente	D=0.26 m	H=1.0 m	$V = \left(\frac{(D^2)*\pi}{4} \right) * H - \left(\frac{(d^2)*\pi}{4} \right) * h$	Anillo cilíndrico	0.02168

5.6 COMPONENTES ADICIONALES AL REACTOR UASB-DIGESTOR

Son parte del sistema que hace posible el funcionamiento adecuado para la investigación, son el diseño de transporte y almacenamiento y el sistema de calentamiento del Digestor de lodos

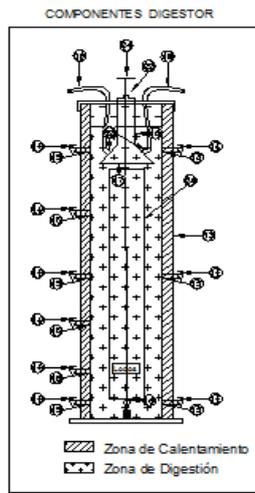
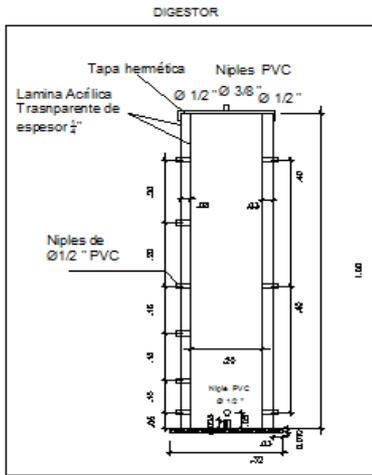
5.6.1 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

El agua residual se transporta desde un buzón de la PTAR-Espinar, previo a su paso por tratamiento preliminar (cámara de rejillas y desarenador), para el transporte se utiliza tres cilindros de

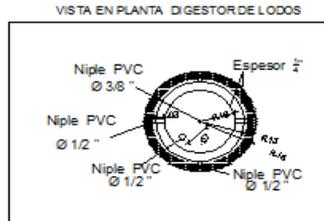
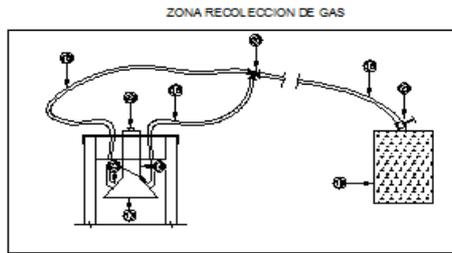
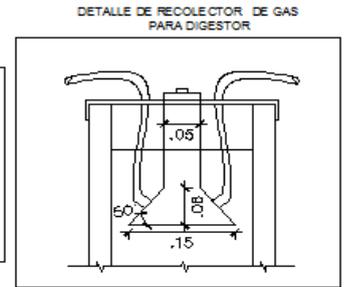
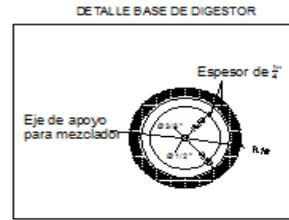
PVC de 200 litros, una bomba centrífuga de 0.5 HP, 2m de manguera de ½", tubería de 1" para la succión de 1.5m, válvula check, desarmador con punta plana y una camioneta 4x4, el tiempo de transporte hasta la zona de investigación es aproximadamente 30 minutos. El agua residual doméstica transportado, se bombea hasta llenar el tanque de 600 litros, encima del tanque se instala un motor reductor con paletas mecánicas para mantener el efluente siempre en mezcla y evitar que sedimente, este motor es controlado por un temporizador que programado para 15 minutos encendido y 15 minutos apagado durante las 24 horas del día, las paletas giran a 18rpm. (Ver fotografía N° 5.6)



Fotografía N° 5.6: Bombeo de agua residual al tanque de 600L (Izquierda); Mezclador en el tanque de 600L (Derecha)



DIGESTOR DE LODOS		
ITEM	DESCRIPCION	CANT
13	DIGESTOR DE LODOS DE ABRILLO ESPESOR 1/4"	D1
14	VALVULA DN 1/2" PVC	08
15	NIPLE PVC DN 1/2" L=0.1m	10
16	NIPLE PVC DN 2" L=0.10m	D1
17	DOMO PVC DN 4.16m	D1
18	MANGUERA PARA GAS DN 3/8" L=5.0m	D1
19	CAMARA DE RECOLECCION DE GAS	D1
20	YEE 3/8" PARA GAS	D1
21	LLAVE DE PASO MANUAL A PRESION	D1
22	SELLO ESPECIAL PARA INGRESO DE MEZCLADOR DN 1/2"	D1
23	ADAPTADOR PARA SALIDA DE GAS DE CONO DN 3/8"	02
24	MEZCLADOR DE METALLO ESPESOR 1/4"	D1



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL ESPECIALIDAD DE INGENIERIA SANITARIA	
	TESIS: "Estudio de la molienda de materia orgánica en reactor aerobio de manto de lodo de flujo ascendente con digestor de lodos (UASB-Digestor) para bio-calidades con altitudes superiores a 3500m snm, aplicado a la ciudad de Puno"	
Proyecto: Tesis de Investigación	Elaborado: Juan Abinso Quijpe Livisí	P2
Diseño Digestor	Asesor: Rosa Elena Yaya Beas	
	Escala: Indicada Fecha: 25 de Setiembre del 2013	

Plano N°5.2: Diseño digestor de lodos

5.6.2 CALENTAMIENTO PARA EL DIGESTOR DE LODOS

Una bomba centrífuga de 0.5HP impulsa agua potable desde un tanque de 50 litros, hasta el calentador de 6 litros, la presión que genera la bomba activa el calentador, esta calienta el agua en un rango de temperaturas de 35-45°C, el agua caliente ingresa a un compartimento exterior del digestor y por transferencia de calor provoca que el lodo en el digestor aumente su temperatura de 25-35°C. La bomba centrífuga es controlada por un temporizador programado aun a frecuencia de 15 minutos encendido y 105 minutos apagado, durante un día funciona 12 veces, durante el tiempo de apagado de la bomba centrífuga, parte del agua que ingreso cilindro concéntrico, se retira lentamente por acción hidráulica controlado por una válvula de ½", esta agua en parte fría regresa al tanque de 50 litros para volver a ser bombeada y calentada por el calentador. Se instaló un tubería de rebose en el digestor para evitar que el agua caliente ingrese al compartimento del lodo, por posibles problemas hidráulicos (bolsas de aire en el circuito de retorno). (Ver fotografía N°5.7)

5.7 PUNTO DE MUESTREO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Las muestras fueron traídas en uno de los siguientes horarios para llenar el tanque de almacenamiento, esto por la disponibilidad de la camioneta **9:00am-12:00pm-15pm-18pm**, fueron seleccionados estos horarios debido a que en estas horas la carga orgánica que ingresa a la planta es representativa y no está diluida.(Ver fotografía N° 5.8)



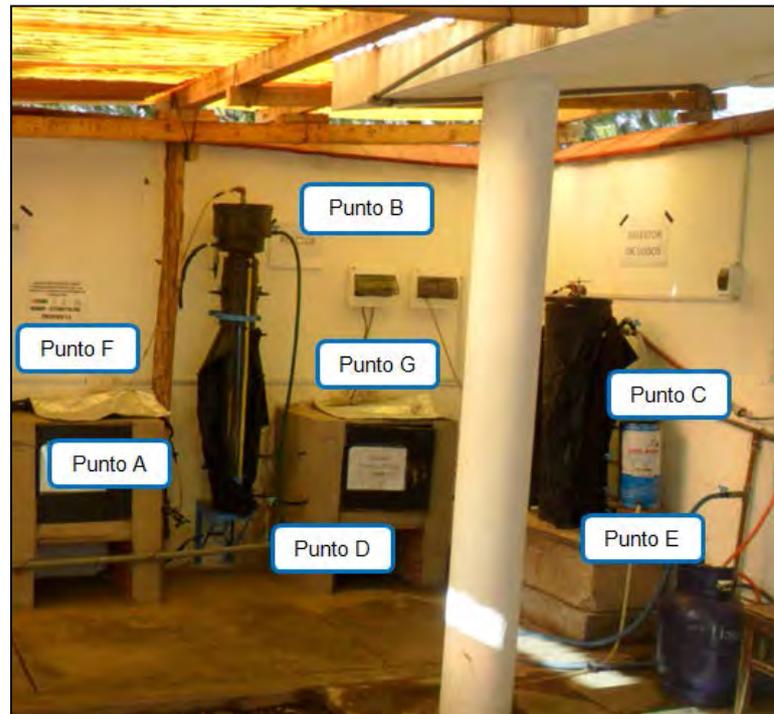
Fotografía N° 5.7: Sistema de calentamiento vista de frente (izquierda), reactor UASB-Digester y sistema de calentamiento (derecha)



Fotografía N° 5.8: Diferentes horas de muestreo de agua residual doméstica de PTAR –Espinar (Puno)

5.8 DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

Para controlar la eficiencia del reactor UASB-Digestor se tomaron en cuenta los siguientes puntos de monitoreo: (Ver fotografía N°5.9)



Fotografía N° 5.9: Puntos de monitoreo del reactor UASB-Digestor

Donde:

Punto A: Punto de ingreso al reactor UASB.

Punto B: Punto de salida del reactor UASB.

Punto C: Punto de muestreo de lodo del Digestor

Punto D: Punto de ingreso de lodo del Digestor al UASB.

Punto E: Punto de salida de agua caliente del Digestor.

Punto F: Punto de salida de biogás de UASB

Punto G: Punto de salida de biogás de Digestor.

5.9 PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL

A) PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros controlados en esta investigación son los siguientes:

- ✓ Temperatura ambiental.
- ✓ Temperatura de ingreso de agua residual.
- ✓ Temperatura del lodo en digestor.
- ✓ Temperatura de agua caliente(transferencia de calor)
- ✓ Temperatura de ingreso a reactor UASB
- ✓ pH
- ✓ Turbiedad
- ✓ Sólidos suspendidos totales
- ✓ Sólidos totales
- ✓ Sólidos disueltos totales.
- ✓ Sólidos volátiles totales.
- ✓ Sólidos sedimentables.
- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno(DBO_5)
- ✓ Demanda química de oxígeno total(DQO total)
- ✓ Demanda química de oxígeno soluble ($DQO_{soluble}$)
- ✓ Producción de gas metano en reactor UASB y Digestor
- ✓ Altura de lodo en reactor UASB.

5.10 CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL

La evaluación de parámetros fisicoquímicos se hicieron por etapas, en la etapa 1 de arranque del reactor UASB y Digestor solo se midió parámetros de control rutinario 3 veces al día, las cuales son: temperatura, pH, sólidos suspendidos totales y turbiedad. Cuando terminó la puesta en marcha se monitoreó un análisis por semana de los parámetros no mencionados. (Ver cuadro N° 5.5)

Cuadro N° 5.5: Monitoreos realizados

Monitoreos semanales de parámetros fisicoquímicos																										
Mes	Enero			Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio		
N° de semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Temperatura ambiental.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Temperatura de ingreso de agua residual.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Temperatura del lodo en digestor.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Temperatura de agua caliente		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Temperatura de ingreso a reactor UASB		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Turbiedad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sólidos suspendidos(espectrofotómetro)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sólidos totales												v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Sólidos disueltos totales												v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Sólidos volátiles totales												v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Sólidos sedimentables													v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)				v		v		v	v		v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Demanda química de oxígeno total(DQO)				v		v		v	v		v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Demanda química de oxígeno soluble				v		v		v	v		v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v
Producción de gas metano													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Altura de lodo en reactor UASB.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

(x) se realizó monitoreo una o más veces al día.

(v) se realizó un monitoreo por semana.

Semana 01 (14 de enero al 18 enero 2013)

Semana 26 (15 de julio al 19 de julio 2013)

5.11 PARÁMETROS EVALUADOS

Para evaluar los análisis y monitoreo de los parámetros fisicoquímicos se utilizó metodologías de laboratorio se utilizaron reactivos y equipos de laboratorio, son los siguientes:

5.11.1 TEMPERATURA AMBIENTAL

Para determinar la temperatura se utilizó un termómetro ambiental de pared con bulbo de mercurio (Ver fotografía N° 5.10) fue ubicado a solo 0.5m y una altura de 1.7m del reactor UASB.



Fotografía N° 5.10: Termómetro ambiental ubicado cerca del reactor UASB

5.11.2 TEMPERATURA EN REACTOR UASB-DIGESTOR

Para determinar la temperatura se utilizó un termómetro, se utiliza para medir la temperatura de: ingreso de agua residual, el lodo en digestor, agua caliente de transferencia de calor, lodo de ingreso a reactor UASB, todo esto fue monitoreado en campo, la muestra se extrajo en vasos de 200ml y se colocó el termómetro

esperando unos 30 segundos para ver la marca de la medición, se tiene 4 vasos 200ml para el muestreo. (Ver fotografía N° 5.11)



Fotografía N° 5.11: Materiales para monitoreo de temperatura (izquierda), medición de temperatura (derecha)

5.11.3 PH

Para determinar el pH se utiliza un medidor electrométrico digital modelo Hach HQ11D (Ver fotografía N°5.12), procedimiento de medición:

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



Fotografía N° 5.12: pH Digital Hach HQ11D , Soluciones Buffer

5.11.4 TURBIEDAD

Para la determinación de la turbiedad se utilizó un turbidímetro Hach modelo 2100P, mide la turbidez en el rango comprendido de 0.01 a 1000NTU con una celda de vidrio de 15ml (Ver fotografía N°5.13), Procedimiento para la medición:

- ✓ Lavar con la muestra tres veces la celda, después llenar la celda de 15ml con muestra a analizar.
- ✓ Limpiar la celda con un paño de microfibra, para evitar las interferencias.
- ✓ Prender el equipo y seleccionar la opción RANGE elegimos 10 a 1000NTU.
- ✓ Colocamos la celda con la señal hacia el lado óptico y presionamos el botón READ para tener la lectura.
- ✓ Finalmente lavamos la celda con detergente y agua y dejamos que seque para la próxima medición.



Fotografía N° 5.13: Turbidímetro Hach 2100P

5.11.5 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

La medición de sólidos suspendidos totales se utilizó un espectrofotómetro DR 5000TM UV-VIS (Ver fotografía N° 5.14), se utiliza celdas de 20ml, procedimiento de medición:

- ✓ Lavar la celda tres veces con la muestra a analizar y llenar los 20ml de muestra.
- ✓ Prender el espectrofotómetro, elegir la opción SST.
- ✓ Colocar la celda y presionar READ.
- ✓ Lavar las celdas con detergente y agua destilada, para próxima medición.



Fotografía N° 5.14: Espectrómetro DR 5000TM UV-VIS

5.11.6 SÓLIDOS TOTALES, SVT, SDT

Se determinó los sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos volátiles totales, sólidos suspendidos volátiles, de esta manera se obtuvo toda la familia de sólidos. Para su determinación fue necesario utilizar los siguientes materiales y equipos: filtros watman N° 40 (8 μ m), 4 cápsulas de porcelana, equipo de filtración, un desecador, pinzas, una estufa, una mufla y una balanza digital. (Ver fotografías N° 5.15, 5.16, 5.17), el procedimiento para la determinación fue el siguiente:

- ✓ Lavar las cápsulas de porcelana y colocar en la mufla a 515°C por 60 minutos y dejar enfriar en el desecador.
- ✓ Una vez enfriadas las cápsulas pesar en la balanza digital de cada uno de sus pesos.



Fotografía N°5.15: Equipo de filtración, filtros y muestra de agua residual y tratada (izquierda), desecador y balanza digital (derecha)

- ✓ Vertemos 100ml de muestra de agua residual no tratada y 100ml de agua tratada, para la determinación de sólidos totales.
- ✓ Filtrar la muestra de agua residual y la tratada, usando el equipo de filtración y los filtros Watman N° 40, se filtraran

100ml de cada uno, para la determinación de sólidos suspendidos, luego este líquido filtrado la vertemos a las dos cápsulas que restan.

- ✓ Estas 4 cápsulas dos sin filtrar y dos con filtrado la colocamos en la estufa a 87°C durante 12 horas.
- ✓ Después la colocamos al desecador y esperamos a que enfrié lentamente, después procedemos a dar lectura de pesos con la balanza digital, siempre utilizando las pinzas metálicas.
- ✓ Después las 4 cápsulas la colocamos en la mufla a 515°C durante 1 hora.
- ✓ Después de pasado el tiempo apagamos la mufla y esperamos 30 minutos, después la sacamos al desecador para que termine de enfriar.



Fotografía N° 5.16: Estufa Eléctrica (izquierda) y mufla (derecha)

- ✓ Pesamos las 4 cápsulas, de las cápsulas sin filtrar obtenemos los sólidos volátiles totales, y de las que se filtraron obtenemos los sólidos suspendidos volátiles.

- ✓ Con estos valores con simple operación de suma y resta se logra construir toda la clasificación de sólidos. (Ver gráfico N°5.1)

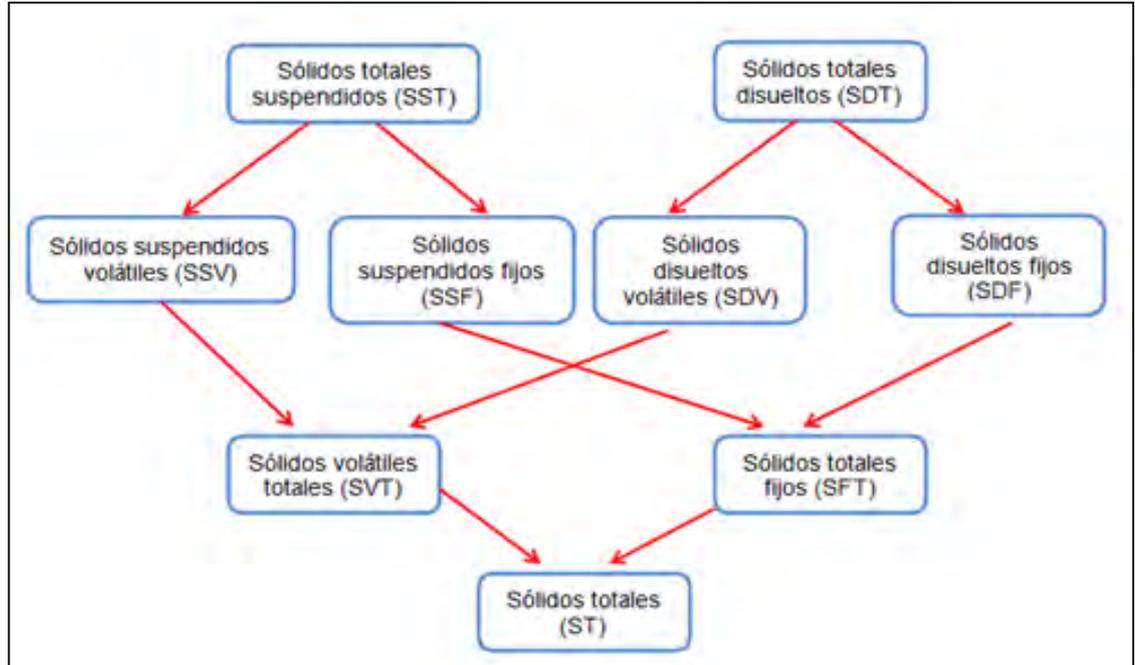


Gráfico N° 5.1: Diagrama de clasificación de sólidos

5.11.7 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Se utilizó un cono Imhoff, se dejó sedimentar durante 1 hora, y procedió a su lectura. (Ver fotografía N° 5.16)



Fotografía N° 5.17: Medición de sólidos sedimentables en cono Imhoff

5.11.8 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Se utiliza el método de las diluciones utilizando los siguientes materiales y equipos: frascos de 300ml con tapa esmerilada, difusor de aire, oxímetro digital, nutrientes, incubadora, pipetas, agua de dilución. (Ver fotografía N°5.18)

El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Destilar el agua potable.
- ✓ Colocar el agua destilada para su aireación durante 2 horas.
- ✓ Preparar agua de dilución con agua destilada aireada y agregando 2.5ml de cada nutriente: cloruro férrico, cloruro de calcio, solución amortiguadora, sulfato de magnesio, se preparan 2.5 litros de agua de dilución.
- ✓ Medir el oxígeno disuelto del agua de dilución, y de las muestras de agua tratada y no tratada.
- ✓ Llenar hasta la mitad con agua de dilución los frascos con tapa esmerilada, se utilizó 4 frascos por punto de muestreo.
- ✓ Pipetear muestras a los frascos con los siguientes volúmenes 1.5ml, 2.5ml, 3.5ml, 4.5ml.
- ✓ Completar con el agua de dilución y mezclar.
- ✓ Llevar los 9 frascos esmerilados incluidos el blanco a la incubadora a 20°C durante 5 días.
- ✓ Lectura de oxígeno disuelto final, utilizando el oxímetro digital.

Finalmente la DBO₅ la obtenemos por regresión lineal que equivale a los métodos APHA

mg/L de $\text{DBO}_5 = (\text{Pendiente} \times 300) - \text{intersección con el eje Y} + \text{OD de muestra}$

Nota: Si la mejor recta se obtiene por medio de la regresión lineal utilizando una calculadora, el signo (-) de la pendiente se deberá cambiar (+) antes de multiplicarlo por 300



Fotografía N° 5.18: Agua de dilución y nutrientes (izquierda), Incubadora con frascos esmerilados (derecha)

5.11.9 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Para la determinación de la DQO se utilizó los siguientes materiales y equipos; propipeta, puntas de pipeta, viales para DQO de alto rango marca Hach, un digestor Hach DBR 200 (ver fotografía N° 5.19)

El procedimiento para su determinación fue el siguiente:

- ✓ Encender el equipo de digestión para que vaya calentando y llegue a una temperatura de 150°C
- ✓ Marcar con plumón indeleble en la tapa del vial, la muestra a pipetear.
- ✓ Retirar la tapa e inclinar 45° , después con ayuda de puntas de pipeta agregar 2ml de muestra.
- ✓ Tapar con la tapa, después mezclar con mucho cuidado, no tocar la base del vial.

- ✓ Colocar los viales al digestor a una temperatura de 150°C por 2 horas.
- ✓ Apagar el digestor y dejar que enfrié.
- ✓ Para su lectura utilizamos el espectrofotómetro, en la opción lectura de DQO de alto rango : (20 – 1500mg/L)



Fotografía N° 5.19: Digestor modelo DBR 200, para la DQO

Para la determinación de la DQO soluble

Solo hay que añadir un paso antes de pipetear la muestra en el vial:

- ✓ Filtrar la muestra de 25ml con filtros de membrana de 0.45um con el equipo de filtración, de esta muestra la pipeteamos solo 2ml al vial y seguidos los pasos anteriores hasta terminar con la lectura.(Ver fotografía N° 5.20)

5.11.10 PRODUCCIÓN DE GAS METANO

La producción de biogás se recolecto en bolsas especiales, del total se midió la producción de metano, para lo cual se utilizó los siguientes materiales: Mariotte, solución de hidróxido de sodio, indicador azul de bromotimol, llaves controladores de paso y

probetas de 250ml (Ver fotografía N° 5.21). Los procedimientos para medir gas metano son los siguientes:



Fotografía N° 5.20: Filtración de 0.45µm para DQO Soluble (Izquierda), Puntas de pipeta y propipeta (Derecha)

- ✓ Preparar 4 litros de agua con 8 pastillas de hidróxido de sodio con el indicador.
- ✓ Destapar las tapas superiores del Mariotte y agregar el agua preparada, con la ayuda del embudo y tapar ambas tapas.
- ✓ Cerrar las bolsas recolectoras del biogás con las llaves controladoras.
- ✓ Conectar la bolsa de biogás sin abrir la llave de paso del biogás y abrir la tapa inferior del Mariotte y recolectar el agua en la probeta, hasta que deje salir el líquido.
- ✓ Colocar la probeta en la salida del líquido y abrir la llave de paso del gas presionando la bolsa y medir cuanto es la producción del metano.
- ✓ Anotar la producción del biogás de cada una de las bolsas especiales para la acumulación del metano



Fotografía N° 5.21: Materiales para medir gas metano

5.11.11 ALTURA DE LODO

Para el control de altura de manto de lodo, se necesita anotar la altura del lodo al final del día, se instaló una cinta métrica tanto en el UASB y el digestor para facilitar la lectura. (Ver fotografía N°5.22)

5.12 PERIODICIDAD DE ANÁLISIS MONITOREADOS

La frecuencia de medición de los parámetros de control, se toma como promedio los parámetros medidos más de tres veces al día y los que se analizan una vez por semana o por día, se considera una sola medición.

➤ **TEMPERATURA AMBIENTAL, INGRESO DE AGUA RESIDUAL, LODO EN DIGESTOR (°C)**

Es el promedio obtenido de la mediciones diarias, realizados de lunes a viernes, durante la primera etapa 1 son 5 veces al día: 9:00am-11:00am-01:00pm-3:00pm-5:00pm, y durante la etapa 2 son 9 veces al día. (9.00am-10:00am-11:00am-12:00pm-01:00pm-02:00pm-03:00pm-04:00pm-05:00pm), en los puntos A y C, la semana 12 se monitoreo las 24 horas.



Fotografía N° 5.22: Cinta métrica para reactor UASB (izquierda), y para digester (derecha)

➤ **TEMPERATURA DE LODO DE INGRESO A REACTOR UASB(°C)**

Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, solo se miden después que la bomba peristáltica termina de bombear lodo del UASB al digester y en sentido inverso, para la etapa 1 son 9:00am-11:00am-01:00pm-3:00pm-5:00pm, y durante la etapa 2 son 3 veces al día; 09:00am-12:00pm-03:00pm, en el punto F, la semana 12 se monitoreo las 24 horas.

➤ **TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE TRANSFERENCIA (C°)**

Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, para la etapa de etapa 1 son 9:00am-11:00am-01:00pm-3:00pm-5:00pm, y durante etapa 2 son 9 veces al día; (9.00am-10:00am-11:00am-12:00pm-01:00pm-02:00pm-03:00pm-04:00pm-05:00pm), en el punto G, la semana 12 se monitoreo las 24 horas.

- **pH**
Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizados de lunes a viernes en el horario de: 9:00am-12:00pm-03:00pm. En los puntos A y B.
- **TURBIEDAD(NTU)**
Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizados de lunes a viernes en el horario de: 9:00am-12:00pm-03:00pm. En los puntos A y B.
- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES(mg/L)**
Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizados de lunes a viernes en el horario de: 9:00am-12:00pm-03:00pm. En los puntos A y B.
- **SÓLIDOS TOTALES(mg/L)**
Es el resultado de análisis semanal en la etapa 2 en los puntos de medición A y B.
- **SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES(mg/L)**
Es el resultado de análisis semanal en la etapa 2 en los puntos de medición A y B.
- **SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES(mg/L)**
Es el resultado de análisis semanal en la etapa 2 en los puntos de medición A y B.
- **SÓLIDOS SEDIMENTABLES(ml/L/h)**
Es el resultado de monitoreo semanal en la etapa 2 y etapa 3 en los puntos de medición A y B.
- **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO(mg/L)**
Es el resultado de análisis semanal en la etapa 1 y etapa 2 en los puntos de medición A y B.

➤ **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO(mg/L)**

Es el resultado de análisis semanal en la etapa 1 etapa 2 y etapa 3 en los puntos de medición A y B.

➤ **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE(mg/L)**

Es el resultado de análisis semanal en la etapa 1 y etapa 2 en los puntos de medición A y B.

➤ **PRODUCCIÓN DE GAS METANO(ml/día)**

Es el resultado de la medición diaria en la etapa 2 y etapa 3, se evalúa la recolección de metano en 24 horas, de producción en los puntos F y G

➤ **ALTURA DE LODO(cm)**

Es el resultado de la medición semanal en el etapa 1, etapa 2 y etapa 3 en el reactor UASB y Digestor de lodos.

5.13 PERÍODOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La etapa 1 se empezó con el arranque del reactor UASB-Digestor, el 28 de diciembre del 2012, se empieza los monitoreos de turbiedad, pH, SST el 11 de enero del 2013, hasta terminar la semana 12(8 de abril del 2013), la etapa 2 empezó desde la 9 de abril hasta el 31 de junio del 2013, la etapa 3 las dos primeras semanas de Julio. (Ver cuadro N° 5.6), en total el estudio duro 200 días.

Cuadro N° 5. 6: Períodos del proyecto de investigación

Período	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Días parciales
Etapa 1	28/12/2012	08/04/2013	100
Etapa 2	09/04/2013	29/06/2013	80
Etapa 3	30/06/2013	19/07/2013	20

5.14 OPTIMIZACIÓN DE COMPONENTES ETAPA 1

Se detallan todas las mejoras en la fase arranque del reactor UASB-Digestor :

- Transporte de agua residual
- Almacenamiento de desagües.
- Reactor UASB-Digestor.
- Sistema de calentamiento para el digestor de lodos.

El arranque de funcionamiento del reactor UASB-digestor empieza el 28 de diciembre del 2012, con los siguientes componentes (Ver cuadro N°5.7)

Cuadro N° 5.7: Implementación de la etapa 1 de reactor UASB-Digestor

Componentes	Implementación
Transporte de agua residual	Tres cilindros 200 L, bomba centrífuga 0.5HP, 2m manguera, 01 válvula check
Almacenamiento de desagües	Temporizador 15min On y 15min OFF, mezclador automático
Reactor UASB	Bomba peristáltica
Digestor de lodos	Bomba peristáltica, mezclador mecánico
Sistema de calentamiento	Calentador a gas 10kg.

A partir de esta fecha se mejora la implementación que se empezó el 28 de diciembre, a continuación se detallan los problemas y su respectiva medidas de corrección ó implementación con nuevos componentes.

5.14.1 OPTIMIZACIÓN DE TRANSPORTE DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

Durante el transporte del agua residual desde la PTAR-Espinar a la zona de la investigación, lugar donde está el reactor UASB-Digestor, al inicio solo se tenía una válvula check, para el bombeo de agua residual, teniendo muy malos resultados ya que la válvula solo servía para una operación, al volver a conectar para descargar en la zona de investigación, la válvula ya no

funcionaba, esto sucedió en tres oportunidades, después se compró otra válvula check. En total se trabajó con dos válvulas.(Ver fotografía N° 5.23)

También se observó por más que el operador de la PTAR-Espinar siempre hacia mantenimiento la cámara de rejillas, el buzón donde se extrae el agua residual siempre está lleno de material grueso que atoraban la válvula check , se llegó a limpiar 4 veces en una operación de bombeo, retrasando el trabajo, por tal motivo se limpió cada tres días el buzón, los resultados fueron evidentes en los próximos bombeos no hubo problemas, es más la válvula check estaba limpia y la calidad de agua es la misma.



Fotografía N° 5.23: Válvula ccheck

5.14.2 OPTIMIZACIÓN DE ALMACENAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

El mezclador mecánico después de dos semanas de ser instalado la tubería que une al motor reductor se desprendió, se le cambio en dos oportunidades con uniones roscadas, pero continuó rompiéndose, después se solucionó colocando una unión mixta roscada y otra pegada con pegamento para PVC, con esta solución no fallo más hasta el final de la investigación. También se colocó un piezómetro para poder mirar el nivel de

agua residual cada vez que se bombeaba, ya que sin esto siempre había rebose de agua residual. (Ver fotografía N°5.24)



Fotografía N° 5.24: El mezclador mecánico después de su reparación (izquierda) y el piezómetro colocado al tanque (derecha)

5.14.3 ARRANQUE Y OPTIMIZACIÓN DE REACTOR UASB-DIGESTOR

➤ INOCULACION DE LODO

El lodo para el arranque del reactor UASB-Digestor se utilizó el lodo proveniente del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente de CITRAR-UNI (Ver fotografía N° 5.25), el 28 de diciembre se inoculo, se hecho agua residual hasta 50cm luego se inoculo 6 litros de lodo al reactor UASB y 16 litros al digestor (Ver fotografía N°5.25), luego de esto el reactor UASB y Digestor se cubrió con plástico negro para evitar el crecimiento de algas al igual que los circuitos de las mangueras (Ve fotografía N°5.26).



Fotografía N° 5.25: Inoculación de lodo en reactor UASB y digestor de lodos

➤ BOMBAS PERISTÁLTICAS

A. Bomba peristáltica 1 (B1): Impulsión de agua residual domestica y recirculación de agua tratada.

B. Bomba peristáltica 2 (B2): Recirculación de lodo.

Ambas bombas empezaron a funcionar el 31 de diciembre del 2012, hubo modificaciones de operación las cuales se detallan a continuación y su explicación y mejoramiento.

1^{er} Condiciones de operación de las bombas al inicio de funcionamiento del sistema. (Ver cuadro N° 5.8)



Fotografía N° 5.26: El reactor UASB y digester se cubrió con plástico negro al igual que circuitos de manguera

Cuadro N°5.8: Condiciones de operación 31 de diciembre 2012

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica y recirculación de efluente tratado	34ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo.	12ml/min, durante 24 horas
Altura de lodo y volumen de lodo	UASB (35cm) Volumen (6.2Litros)	Digestor(70cm) Volumen (22.0 litros)
Recirculación de lodo		
Traslado de lodo del reactor UASB al digester de lodos	UASB altura de ingreso de lodo: 3cm altura de salida de lodo:23cm	Digestor altura de ingreso de lodo: 45cm altura de salida de lodo: 5cm

Con esta operación inicial la B2 tiene atoros en el circuito de recirculación, las mangueras se atoran (Ver fotografía N°5.27), al observar que siempre existirá los atoros debido a que el lodo tiene muchas partículas gruesas, como pelos, etc. Se decide filtrar la muestra con un colador de cocina, tanto el lodo del digestor y del reactor UASB. (Ver fotografía N° 5.28)



Fotografía N° 5.27: Accesorio atorado con lodo del digestor



Fotografía N° 5.28: Filtración del lodo usando un colador de cocina y espátula

2^{do} Después de esta modificación la recirculación de lodo mejora, pero a la misma caudal 12ml/min de B2 el caudal

se incrementa a 18ml/min, a consecuencia de la filtración de lodo. Aun después de la filtración el traslado de lodo es deficiente, solo se traslada agua residual mas no lodo. (Ver cuadro N°5.9)

Cuadro N°5.9: Condiciones de operación 04 de enero 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica y recirculación de efluente tratado	34ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	18ml/min, durante 24 horas

3º Se instaló un temporizador a la bomba peristáltica 2 que controla la recirculación de lodo, con el objetivo de aumentar el caudal de bombeo y que pueda trasladar lodo, pero eso implica modificar el tiempo de bombeo por periodos. (Ver cuadro N° 5.10)

Cuadro N° 5.10: Condiciones de operación 10 de enero 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica y recirculación de efluente tratado	34ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	45ml/min, ON 30min y OFF 90min, durante 24 horas

4º El caudal de operación con el pasar de los días tampoco funciona ya que lo que se recircula es agua residual mas no lodo, por luego se fija una nueva operación. (Ver cuadro N°5.11) Se analiza el parámetro de DQO por primera vez. Este mal funcionamiento ocasiona que parte

del líquido flocúlenlo del digester de traslade al reactor UASB y el digester queda con poco lodo (Ve fotografía 5.29)

Cuadro N°5.11: Condiciones de operación 20 de enero 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica y recirculación de efluente tratado	34ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	80ml/min, ON 30min y OFF 150min, durante 24 horas



Fotografía N° 5.29: Deficiente traslado de lodo del digester ocasiona la pérdida del nivel constante de lodo

5^{to} Al cambiar los accesorios para unir mangueras, tanto para el circuito de impulsión como para la recirculación de lodos, ya que parte de estas son el problema de los atoros, además se modifica el caudal de operación de la bomba de recirculación de lodo. (Ver cuadro N°5.12)

Cuadro N°5.12: Condiciones de operación 25 de enero 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica y recirculación de efluente tratado	34ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	125ml/min, ON 15min y OFF 45min, durante 24 horas

6^{to} El traslado de lodo es exitoso, pero el problema es que cada vez que se bombea el efluente esta turbio está llena de partículas flocúlenas de lodo, con turbidez incluso más alta que la entrada, se modifica la operación de la bomba de recirculación de lodos con la idea de mejorar el efluente. (Ver Cuadro N° 5.13)

Cuadro N°5.13: Condiciones de operación 30 de enero 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica y recirculación de efluente tratado	34ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	125ml/min, ON 15min y OFF 105min, durante 24 horas

7^{mo} Con la anterior forma de operar la recirculación de lodo mejora poco, por la experiencia anterior conviene tener un caudal medio de operación de recirculación de lodo. Además como ya se recirculó el lodo varias veces, aun con caudales bajos el lodo se hizo menos viscoso (espeso), también al modificar el caudal de operación a 80ml/min y al anular la recirculación de agua tratada para ver el efecto de la recirculación de lodo, ya que también la recirculación

de agua tratada también puede tener efecto en el efluente turbio. (Ver cuadro N°5.14)

Cuadro N°5.14: Condiciones de operación 11 de febrero 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica	80 ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	24ml/min, ON 15min y OFF 45min, durante 24 horas

8º Con la anterior operación hay mejoras notables en la calidad de efluente y el traslado de lodo también es efectiva, ahora se activa la recirculación de agua tratada para cumplir con la velocidad ascensional 0,5-1m/h. (Ver Cuadro N° 5.15)

Cuadro N°5.15: Condiciones de operación 6 de marzo 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica y recirculación de efluente tratado	80 ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	24ml/min, ON 15min y OFF 105min, durante 24 horas

9º Con al anterior operación de sumarle el caudal de recirculación de agua tratada como parte de mejorar la velocidad ascensional es negativo ya que el efluente se ve afectado en la turbiedad, por lo que se decide eliminar para la etapa 2 en forma definitiva. (Ver cuadro N° 5.16)

Cuadro N°5.16: Condiciones de operación 14 de marzo 2013

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica	60 ml/min, durante 24 horas
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	24ml/min, ON 15min y OFF 105min, durante 24 horas

Respecto a los múltiples traslados de lodo del digestor al reactor UASB la cantidad de lodo se redujo producto de fuga por atoros y además por operación de recirculación de lodo es útil tener una altura por encima del punto de succión de lodo del reactor UASB (Ver cuadro N° 5.19), la altura incrementada llega hasta los 45cm, por tanto el punto de succión de lodo es 25cm debajo,, entonces se agregó lodo filtrado al reactor UASB y el caso del digestor se incremento el volumen de lodo para ajustar el TRH del digestor.(Ver cuadro N° 5.17)

Cuadro N° 5.17: Altura de lodo incrementado al 14/03/2013- semana 9

	UASB	Digestor
Altura inicial	38cm	42cm
Altura final	45cm	85cm

10^{mo} Se mantuvo durante 4 semanas con el caudal de impulsión de 86.4 L/día como parte del arranque del reactor UASB-Digestor, ya que a partir de la operación del cuadro N° 5.16 se optimiza un funcionamiento en la recirculación como en el efluente de buena calidad, por tanto la evaluación final de investigación empieza la semana 13 del cronograma, por tanto se considera la altura de lodo estable para el reactor UASB es 57.3 cm, para completar el ajuste se incrementa hasta 90cm de

altura el digestor de lodos para su operación a un TRH de 10días (Ver cuadro N° 5.18-5.19)

Cuadro N° 5.18: Condiciones para la etapa 2-semana 13

Descripción	Función	Operación
Bomba Peristáltica 1(B1)	Impulsión de agua residual doméstica	X ml/min, durante 24 horas, altura de lodo 57.3cm
Bomba Peristáltica 2(B2)	Recirculación de lodo	24ml/min, ON 15min y OFF 165min, durante 24 horas, altura de lodo 90cm

Donde:

X= caudal en estudio 34, 40, 48, 60, 80,120ml/min, ajustados en la bomba peristáltica.

Cuadro N° 5.19: Altura de recirculación UASB-Digestor

Recirculación	UASB	Digestor
Altura de ingreso de lodo	3cm	85cm
Altura de salida de lodo	23cm	5cm

N

Nota: Desde la fecha 14/03/2013(semana 9) de la investigación funcionó con esas alturas para la recirculación de lodo

5.14.4 OPTIMIZACIÓN DE CALENTAMIENTO PARA DIGESTOR DE LODOS

El objetivo del sistema de calentamiento es mantener el lodo en el digestor a una temperatura de 25-35°C. Al inicio de la operación solo se contaba con el calentador y un punto de agua fría, que suministraba el agua y la presión necesaria para encender el calentador, se operó manualmente al abrir la válvula y el agua caliente ingresa al digestor (Ver cuadro N° 5.19), pero de noche es el problema, ya que nadie la opera, entonces el lodo en el digestor se enfría (Ver fotografía N° 5.30).



Fotografía N° 5.30: Sistema de calentamiento a inicios de investigación

Por tal motivo se decide automatizar el sistema de calentamiento instalando un temporizador que controlara una bomba centrífuga y esta se encargará de prender el calentador y calentar el lodo del digestor, además ya no se desperdiciará agua, ya que se diseñó una tubería de retorno de agua enfriada que regresa al tanque donde se bombea el agua, recirculando la misma agua unos 50 litros. (Ver fotografía N° 5.7), (Ver cuadro N° 5.20), la condición de operación se termina ajustando con las mediciones de temperatura en el digestor de lodos y la necesidad de que el agua de retorno este a una temperatura inferior a 20°C, ya que con la operación desde de la fecha 25/01/2013 el agua en el tanque está muy caliente 35°C y provoca la corrosión de la bomba centrífuga, producto de esto se desprenden partículas finas de óxido que atoran el calentador hasta dejarlo sin funcionar (Ver fotografía N° 5.31), para evitar esto se cambian a nuevas condiciones de operación de temporizador y se coloca un filtro para evitar que partículas entren al calentador. Después se instaló un rebose como medida de seguridad, en varias oportunidades el agua caliente ingreso al compartimento donde se almacena el lodo. (Ver fotografía N° 5.7)



Fotografía N° 5.31: Acumulación de óxido en la base del digestor de lodos

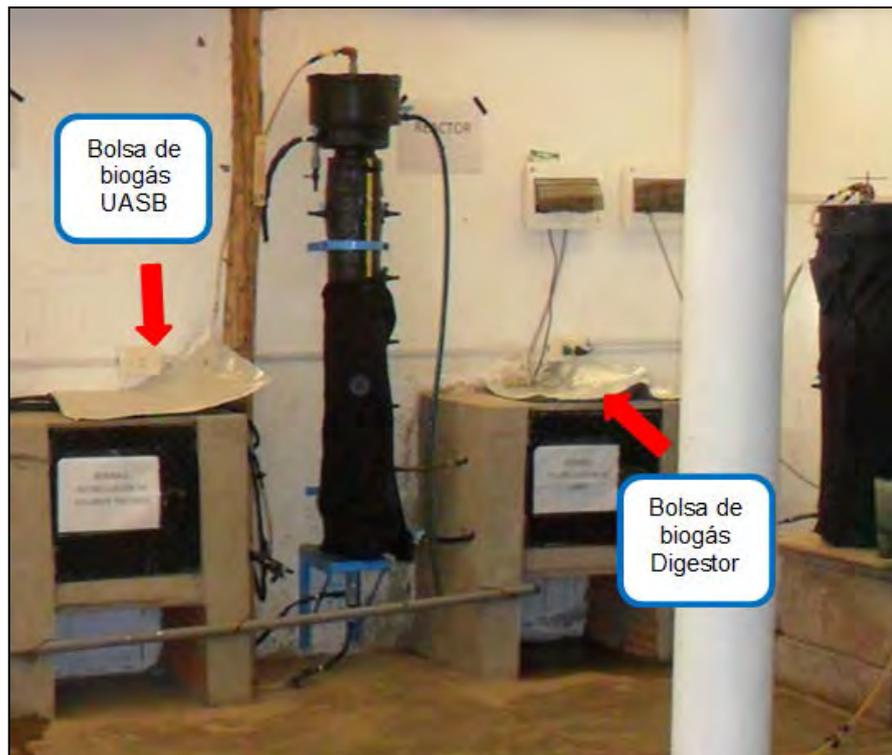
Cuadro N° 5.20: Operación del sistema de calentamiento

Fecha	07/01/2013	25/01/2013	28/02/2013
Activación del calentador	Abriendo la válvula	Bomba centrífuga	Bomba centrífuga
Función	Impulsión de agua para encender el calentador	Impulsión de agua para encender el calentador	Impulsión de agua para encender el calentador
Operación	Manual , cada 2 horas	Automática, ON 15min - OFF 45min	Automática, ON 15min - OFF 105min
Altura de calentamiento en digestor	85cm	85cm	85cm
Destino de agua usada en digestor	Se evacua al desagüe	Retorna al tanque a 35°C, controlado por una válvula de 1/2"	Retorna al tanque a 21°C, Controlado por una válvula de 1/2", además se instala un filtro
Rebose en digestor	No tiene	No tiene	Se instala
Observación	En calidad de prueba	En calidad de prueba	Condiciones para evaluación de investigación

5.15 OPTIMIZACIÓN DE COMPONENTES ETAPA 2

Para mejorar la recolección de biogás del reactor UASB y en digestor de lodos durante la semanas de monitoreo siguiendo el proceso de medición de gas metano se identificó que las bolsas de gas tenía un doble capa de

plástico que acumulaba gas y no era registrado en las mediciones, estas capas se perforaron, para evitar su acumulación, también en la bolsa de gas del reactor UASB la válvula de conexión deja escapar gas, se solucionó con un pegamento (silicona), de esta manera se solucionó los problemas.(Ver fotografía N° 5.32).



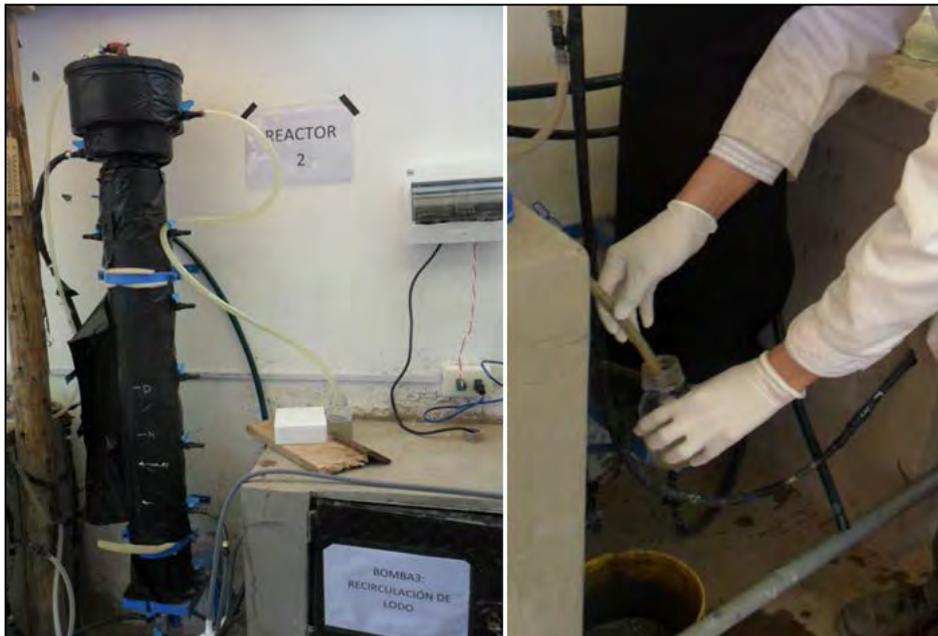
Fotografía N° 5.32: Se mejora las bolsas de recolección de biogás en reactor UASB-Digestor

5.16 TÉCNICAS DE MUESTREO

Para tomar la muestra en el punto A, es necesario que el agitador del tanque de almacenamiento de agua residual doméstica este encendido, abrir la válvula de $\frac{1}{4}$ ", dejar escurrir parte del agua unos 40 segundos, después tomar la muestra en un recipiente de 250ml, esto con el fin de desechar los sólidos acumulados en el circuito de mangueras.(Ver fotografía N° 5.33).

Para el muestreo del punto B, cerrar la válvula por unos 50 segundos, después la abriarla válvula y se purga lo desechos que se acumulan en el recolector de agua tratada, después conectar una manguera de silicona de ½" (solo para tomar muestra, se usa manguera de silicona), tomar una muestra en un recipiente de 250ml. (Ver fotografía N° 5.33).

Para tomar muestra en el punto C, agitar el mezclador, abrir la válvula de ½" y tomar la muestra en un vaso de 50ml y colocar el termómetro para medir la temperatura, para tomar muestra en el punto D, cerrar la válvula a la entrada al reactor UASB, abrir el cabezal de la bomba peristáltica y abrir la válvula de salida del digester de lodos, después extraer y abrir la válvula de muestreo. Para tomar muestra en el punto E, simplemente abrir la válvula y tomar muestra en otro frasco de 50ml. (Ver fotografía N° 5.9)



Fotografía N° 5.33: Toma de muestra en el punto B (izquierda) y en el punto A (derecha)

CAPÍTULO 6

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos por semana y por parámetro.

6.1 RESULTADOS POR SEMANA

Se detallan en los siguientes cuadros los resultados obtenidos por semana (Ver cuadros N° 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18, 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23, 6.24, 6.25, 6.26)

Los resultados de la investigación se clasifican en 3 etapas, las principales características se detallan a continuación:

A) ETAPA 1

Es el tiempo para la aclimatación de lodo inoculado al reactor UASB, proceso que dura 100 días. Respecto al digestor consistió en acondicionar un correcto traslado de lodo desde el reactor UASB al digestor y del digestor al reactor UASB, además el sistema de calentamiento siempre debió funcionar las 24 horas y mantener el lodo en un rango de temperatura constante de 25-35°C, proceso que también duro 100 días.

B) ETAPA 2

Se evaluó el UASB a 6 tiempos de retención hidráulica 4-6-8-10-12-14 horas, durante 2 semanas cada TRH y manteniendo constante el TRH en 10 días para el digestor de lodos. En total el estudio dura 80 días.

C) ETAPA 3

Para el mejor tiempo de retención hidráulico obtenido para el reactor UASB en remoción de carga orgánica, se operó durante dos semanas, cambiando el TRH a 20 días del digestor, se estudia por 20 días

Cuadro N° 6.1: Resultados obtenidos durante la semana 1

Semana 1								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	34ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	45ml/min			Periodos			30min	90min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C							
Temperatura en punto de muestreo	°C		-				-	-
PH		7.71	7.76	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	302.93	91.71	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	320.69	120.94	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h			-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L			-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L			-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L			-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	-	-	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	36.80						
Altura de lodo en Digestor	cm	18.30						

Cuadro N° 6.2: Resultados obtenidos durante la semana 2

Semana 2								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	34ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	80ml/min			Periodos			30min	150min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	14.83						
Temperatura en punto de muestreo	°C	13.92	-	23.75	22.58	26.83	-	-
PH		8.00	7.93	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	189.57	56.34	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	236.00	66.00	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h			-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L			-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L			-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L			-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	-	-	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	30.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	14.50						

Cuadro N° 6.3: Resultados obtenidos durante la semana 3

Semana 3								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	34ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	125/ml/min			Periodos			15min	45min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	16.35						
Temperatura en punto de muestreo	°C	14.60	-	32.65	24.70	38.25	-	-
PH		7.78	7.91	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	191.65	173.72	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	234.18	220.16	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h			-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L			-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L			-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L			-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	-	-	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	44.50						
Altura de lodo en Digestor	cm	30.00						

Cuadro N° 6.4: Resultados obtenidos durante la semana 4

Semana 4								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	34ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	125ml/min			Periodos			15min	105min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	14.69						
Temperatura en punto de muestreo	°C	14.85	-	33.08	29.69	42.31	-	-
PH		8.03	8.10	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	342.98	187.73	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	385.50	245.83	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h			-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	142.93	117.48	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	474.00	250.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	193.00	172.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	23.21	12.24	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	29.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	33.00						

Cuadro N° 6.5: Resultados obtenidos durante la semana 5

Semana 5								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	80ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	45min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	14.10						
Temperatura en punto de muestreo	°C	13.60	-	31.20	26.10	42.30	-	-
PH		7.90	7.94	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	261.17	86.93	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	478.67	122.67	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	-	-	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	35.50						
Altura de lodo en Digestor	cm	29.50						

Cuadro N° 6.6: Resultados obtenidos durante la semana 6

Semana 6								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	80ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	45min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	16.07						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.00	-	34.80	29.73	40.87	-	-
PH		8.13	8.19	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	254.65	78.22	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	314.88	98.71	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	178.22	67.21	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	358.00	150.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	58.00	45.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	-	-
Carga orgánica(C)	gDQO/día	41.24	17.28	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	36.50						
Altura de lodo en Digestor	cm	22.00						

Cuadro N° 6.7: Resultados obtenidos durante la semana 7

Semana 7								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	80ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	45min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	17.00						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.40	-	37.44	30.80	45.00	-	-
PH		7.98	8.03	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	294.15	69.28	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	330.31	88.23	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	-	-	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	37.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	22.00						

Cuadro N° 6.8: Resultados obtenidos durante la semana 8

Semana 8								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	80ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	105min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	16.25						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.90	-	37.20	29.50	40.85	-	-
PH		7.93	7.99	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	268.53	68.40	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	296.07	96.33	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	263.70	114.39	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	412.00	242.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	176.00	186.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	-	-
Carga orgánica(C)	gDQO/día	47.46	27.88	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	38.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	24.00						

Cuadro N° 6.9: Resultados obtenidos durante la semana 9

Semana 9								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	60ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	105min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	16.53						
Temperatura en punto de muestreo	°C	14.67	-	31.07	27.80	37.27	-	-
PH		7.63	7.84	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	346.86	66.33	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	377.86	90.64	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	297.98	87.44	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	446.00	235.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	188.00	187.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	38.53	20.3	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	45.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	85.00						

Cuadro N° 6.10: Resultados obtenidos durante la semana 10

Semana 10								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	60ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	105min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	13.10						
Temperatura en punto de muestreo	°C	12.80	-	31.10	25.60	39.10	-	-
PH		7.70	7.83	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	337.40	100.49	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	387.30	150.40	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	-	-
Carga orgánica(C)	gDQO/día	-	-	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	45.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	85.00						

Cuadro N° 6.11: Resultados obtenidos durante la semana 11

Semana 11								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	60ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	105min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	17.20						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.53	-	36.13	30.40	41.67	-	-
PH		7.65	7.79	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	340.89	73.36	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	386.78	102.44	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	600.00	363.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	282.00	272.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-		
Carga orgánica(C)	gDQO/día	51.84	31.36	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	61.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	85.00						

Cuadro N° 6.12: Resultados obtenidos durante la semana 12

Semana 12								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	60ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	13.74						
Temperatura en punto de muestreo	°C	13.14	-	33.45	27.88	40.35	-	-
PH		7.70	7.91	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	250.94	58.96	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	326.82	79.88	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	-	-	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	483.00	249.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	210.00	206.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	-	-
Carga orgánica(C)	gDQO/día	41.73	21.51	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	61.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	85.00						

Cuadro N° 6.13: Resultados obtenidos durante la semana 13

Semana 13								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	48ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	17.96						
Temperatura en punto de muestreo	°C	14.92	-	33.20	27.80	38.92	-	-
PH		7.76	7.99	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	288.88	54.74	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	350.88	83.29	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1500.00	1200.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1250.00	1100.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	500.00	300.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	2.50	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	225.43	173.03	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	571.00	325.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	232.00	209.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	-	-
Carga orgánica(C)	gDQO/día	39.47	22.46	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	58.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.14: Resultados obtenidos durante la semana 14

Semana 14								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	48ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	16.24						
Temperatura en punto de muestreo	°C	14.24	-	28.38	21.50	33.48	-	-
PH		7.95	8.00	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	364.24	79.45	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	400.18	103.41	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1400.00	1200.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	900.00	1000.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	200.00	200.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	1.50	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	199.99	100.71	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	641.00	285.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	228.00	198.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	-	-
Carga orgánica(C)	gDQO/día	44.31	19.70	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	60.50						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.15: Resultados obtenidos durante la semana 15

Semana 15								
Resultados obtenidos durante la semana 15	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	40ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	17.43						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.71	-	34.37	28.27	41.60	-	-
PH		8.07	8.13	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	492.76	80.88	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	508.65	113.59	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	2300.00	1800.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1500.00	1600.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	700.00	500.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	1.00	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	257.66	105.82	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	779.00	339.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	234.00	233.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	417.50	560.50
Carga orgánica(C)	gDQO/día	44.87	19.53	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	61.60						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.16: Resultados obtenidos durante la semana 16

Semana 16								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	40ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	16.94						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.35	-	34.74	27.50	42.19	-	-
PH		7.93	8.12	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	346.87	88.63	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	408.00	107.40	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1200.00	900.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000.00	800.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	300.00	100.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	2.00	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	252.01	113.77	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	640.00	332.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	189.00	175.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	745.00	753.50
Carga orgánica(C)	gDQO/día	36.86	19.12	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	60.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.17: Resultados obtenidos durante la semana 17

Semana 17								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	34ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	17.24						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.98	-	29.31	23.94	34.89	-	-
PH		7.98	8.08	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	399.76	83.73	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	456.13	133.00	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1400.00	1200.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000.00	1100.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	700.00	300.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h			-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	242.78	102.38	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	641.00	295.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	192.00	186.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	758.50	1405.00
Carga orgánica(C)	gDQO/día	31.88	14.44	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	58.70						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.18: Resultados obtenidos durante la semana 18

Semana 18								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	34ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	15.88						
Temperatura en punto de muestreo	°C	14.31	-	31.57	25.59	37.86	-	-
PH		7.91	8.15	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	401.35	68.85	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	449.12	97.88	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1300.00	900.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000.00	800.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	500.00	400.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	2.50		-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	246.98	58.24	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	548.00	179.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	99.00	95.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	846.00	513.50
Carga orgánica(C)	gDQO/día	26.83	8.76	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	59.30						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.19: Resultados obtenidos durante la semana 19

Semana 19								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	60ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	16.63						
Temperatura en punto de muestreo	°C	15.41	-	29.55	22.47	33.43	-	-
PH		7.82	7.94	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	486.76	68.19	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	522.29	116.88	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1300.00	1100.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000.00	1000.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	300.00	100.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	3.00	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	267.36	145.38	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	779.00	363.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	280.00	272.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	841.00	540.00
Carga orgánica(C)	gDQO/día	67.31	31.36	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	58.80						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.20: Resultados obtenidos durante la semana 20

Semana 20								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	60ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	15.02						
Temperatura en punto de muestreo	°C	13.00	-	30.78	22.06	34.69	-	-
PH		7.63	7.73	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	441.67	96.17	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	483.56	135.44	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1400.00	1000.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000.00	900.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	600.00	200.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	2.00	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	322.20	151.31	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	742.00	344.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	258.00	262.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	1073.50	1565.50
Carga orgánica(C)	gDQO/día	64.11	29.72	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	63.70						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.21: Resultados obtenidos durante la semana 21

Semana 21								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	80ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	13.86						
Temperatura en punto de muestreo	°C	12.20	-	25.88	20.12	31.69	-	-
PH		7.78	7.84	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	486.88	111.14	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	513.65	167.53	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1600.00	1200.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000.00	900.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	400.00	200.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	3.00	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	361.41	192.70	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	822.00	379.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	331.00	252.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	743.60	689.20
Carga orgánica(C)	gDQO/día	94.69	43.66	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	72.00						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.22: Resultados obtenidos durante la semana 22

Semana 22								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	80ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	13.48						
Temperatura en punto de muestreo	°C	12.18	-	28.25	21.13	32.73	-	-
PH		7.79	7.77	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	370.24	138.03	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	418.76	208.82	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1400.00	1100.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1200.00	1100.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	300.00	100.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	1.00	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	234.55	128.13	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	655.00	442.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	264.00	236.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	1029.25	1412.25
Carga orgánica(C)	gDQO/día	75.46	50.92	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	79.60						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.23: Resultados obtenidos durante la semana 23

Semana 23								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	120ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	14.61						
Temperatura en punto de muestreo	°C	12.71	-	26.27	20.41	29.29	-	-
PH		7.77	7.76	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	471.38	161.63	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	490.25	226.44	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1400.00	1300.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1200.00	1200.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	400.00	300.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	2.00	1.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	306.74	220.80	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	804.00	535.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	305.00	289.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	740.00	779.00
Carga orgánica(C)	gDQO/día	138.93	92.45	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	99.20						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.24: Resultados obtenidos durante la semana 24

Semana 24								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	120ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			15min	165min
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	17.02						
Temperatura en punto de muestreo	°C	12.73	-	31.27	22.73	34.60	-	-
PH		7.70	7.72	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	404.53	144.53	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	433.00	203.60	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L	1300.00	1200.00	-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L	1100.00	1000.00	-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L	300.00	300.00	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	1.50	1.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	245.35	164.69	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	647.00	536.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L	225.00	222.00	-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	754.00	781.20
Carga orgánica(C)	gDQO/día	111.80	92.62	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	107.90						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.25: Resultados obtenidos durante la semana 25

Semana 25								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	40ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			1h	23h
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	14.04						
Temperatura en punto de muestreo	°C	12.37	-	26.81	21.33	31.52	-	-
PH		7.88	7.87	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	418.89	135.89	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	444.00	159.11	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	1.30	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L	315.85	195.27	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	780.00	364.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L			-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	910.67	872.67
Carga orgánica(C)	gDQO/día	44.93	20.97	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	94.33						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

Cuadro N° 6.26: Resultados obtenidos durante la semana 26

Semana 26								
Condiciones de operación	Bomba Peristáltica			Funcionamiento			ON	OFF
Caudal de impulsión a UASB	40ml/min			Continuo			-	-
Caudal de recirculación de lodo	24ml/min			Periodos			1h	23h
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Pto. D	Pto. E	Pto. F	Pto. G
Temperatura ambiental	°C	13.67						
Temperatura en punto de muestreo	°C	12.42	-	26.17	24.00	31.25	-	-
PH		7.94	7.88	-	-	-	-	-
Turbiedad	NTU	473.13	114.87	-	-	-	-	-
Sólidos suspendidos totales(espectrofotómetro)	mg/L	484.93	142.07	-	-	-	-	-
Sólidos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos disueltos totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos volátiles totales	mg/L			-	-	-	-	-
Sólidos sedimentables	ml/L/h	3.00	0.00	-	-	-	-	-
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO ₅)	mg/L			-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno total(DQO)	mg/L	716.00	370.00	-	-	-	-	-
Demanda química de oxígeno soluble	mg/L			-	-	-	-	-
Producción de gas metano en punto de muestreo	ml/día	-	-	-	-	-	1835.00	2185.00
Carga orgánica(C)	gDQO/día	41.24	21.31	-	-	-	-	-
Altura de lodo en reactor UASB.	cm	93.80						
Altura de lodo en Digestor	cm	90.00						

De Los resultados de las 26 semanas se detalla la característica de operación del reactor UASB-Digestor (Ver cuadro N° 6.27-6.28)

Cuadro N° 6.27: Operación del reactor UASB-digestor - I

Etapa	Semana	UASB		DIGESTOR			
		Caudal (L/día) Ingreso a reactor UASB	Operación	Caudal (ml/min) recirculación	Operación	ON (min)	OFF (min)
ETAPA 1	1	49.0	Continuo	45	Períodos	30	90
	2	49.0	Continuo	80	Períodos	30	150
	3	49.0	Continuo	125	Períodos	15	45
	4	49.0	Continuo	125	Períodos	15	105
	5	115.2	Continuo	24	Períodos	15	45
	6	115.2	Continuo	24	Períodos	15	45
	7	115.2	Continuo	24	Períodos	15	45
	8	115.2	Continuo	24	Períodos	15	105
	9	86.4	Continuo	24	Períodos	15	105
	10	86.4	Continuo	24	Períodos	15	105
	11	86.4	Continuo	24	Períodos	15	105
	12	86.4	Continuo	24	Períodos	15	165
ETAPA 2	13	69.1	Continuo	24	Períodos	15	165
	14	69.1	Continuo	24	Períodos	15	165
	15	57.6	Continuo	24	Períodos	15	165
	16	57.6	Continuo	24	Períodos	15	165
	17	49.0	Continuo	24	Períodos	15	165
	18	49.0	Continuo	24	Períodos	15	165
	19	86.4	Continuo	24	Períodos	15	165
	20	86.4	Continuo	24	Períodos	15	165
	21	115.2	Continuo	24	Períodos	15	165
	22	115.2	Continuo	24	Períodos	15	165
	23	172.8	Continuo	24	Períodos	15	165
	24	172.8	Continuo	24	Períodos	15	165
ETAPA 3	25	57.6	Continuo	24	Períodos	60	1380
	26	57.6	Continuo	24	Períodos	60	1380

Cuadro N° 6.28: Operación del reactor UASB-digestor - II

Etapa	Semana	UASB			DIGESTOR			
		TRH (horas)	Velocidad ascensional (m/h)	Altura de lodo (m)	Caudal equivalente continuo (ml/min)	Altura de lodo en digestor (m)	Volumen activo de lodo (m ³)	TRH (días)
ETAP A 1	1	14	0.12	0.37	11.3	0.18	0.006	0.4
	2	14	0.12	0.30	13.3	0.15	0.005	0.2
	3	14	0.12	0.45	31.3	0.30	0.009	0.2
	4	14	0.12	0.29	15.6	0.33	0.010	0.5
	5	6	0.27	0.36	6.0	0.30	0.009	1.1
	6	6	0.27	0.37	6.0	0.22	0.007	0.8
	7	6	0.27	0.37	6.0	0.22	0.007	0.8
	8	6	0.27	0.38	3.0	0.24	0.008	1.7
	9	8	0.20	0.45	3.0	0.85	0.027	6.2
	10	8	0.20	0.45	3.0	0.85	0.027	6.2
	11	8	0.20	0.61	3.0	0.85	0.027	6.2
	12	8	0.20	0.61	2.0	0.85	0.027	9.3
ETAP A 2	13	10	0.16	0.58	2.0	0.90	0.028	9.8
	14	10	0.16	0.61	2.0	0.90	0.028	9.8
	15	12	0.14	0.62	2.0	0.90	0.028	9.8
	16	12	0.14	0.60	2.0	0.90	0.028	9.8
	17	14	0.12	0.59	2.0	0.90	0.028	9.8
	18	14	0.12	0.59	2.0	0.90	0.028	9.8
	19	8	0.20	0.59	2.0	0.90	0.028	9.8
	20	8	0.20	0.64	2.0	0.90	0.028	9.8
	21	6	0.27	0.72	2.0	0.90	0.028	9.8
	22	6	0.27	0.80	2.0	0.90	0.028	9.8
	23	4	0.41	0.99	2.0	0.90	0.028	9.8
	24	4	0.41	1.08	2.0	0.90	0.028	9.8
ETAP A 3	25	12	0.14	0.94	2.0	0.90	0.028	9.8
	26	12	0.14	0.94	1.0	0.90	0.028	19.6

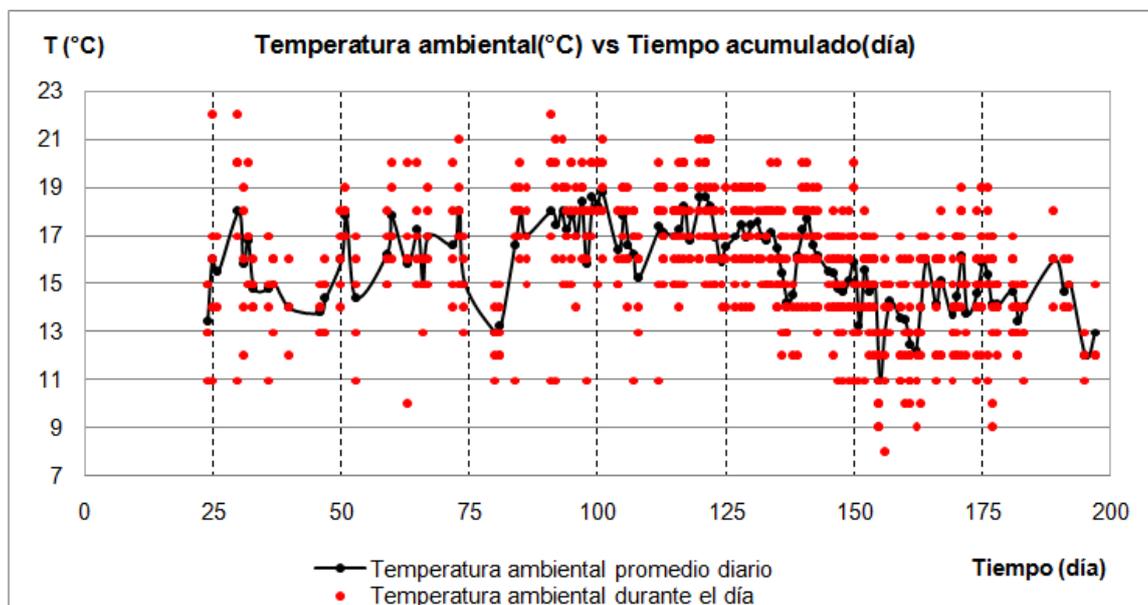
6.2 RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO

A continuación se detallan los resultados de monitoreo de la investigación en sus 26 semanas de evaluación de parámetros fisicoquímicos.

6.2.1 PARÁMETROS EVALUADOS

A) TEMPERATURA AMBIENTAL

Los resultados de la medición diaria durante el período de investigación (Ver gráfico N° 6.1), muestra la temperatura mínima es de 8°C y máxima es 22°C, siendo la temperatura ambiental promedio 15.7°C durante las 26 semanas.



Donde:

Época de lluvia (0-125día)

Época de helada (126-200día)

Gráfico N° 6.1: Temperatura ambiental (°C) vs Tiempo acumulado(días)

La investigación estuvo marcado por dos períodos estacionales, lluvias y heladas (Ver cuadro N° 6.29)

Cuadro N° 6.29: Características climáticas en la investigación

Estaciones del año	Tiempo de investigación	Características zona ecológica circunlacustre (3812-3900msnm)
Época de lluvia(Verano)	(1-125 día) semana 1: Primer día 14 de Enero del 2013 semana 16: Último día 5 de Mayo del 2013	Abundante precipitación pluvial anual 600-750mm, la temperatura en las noches desciende a 3°C y comprende del mes de Diciembre 2012 a Abril del 2013
Época de helada(Invierno)	(126 – 200día) semana 17: Primer día 6 de mayo del 2013 semana 26: Último día 19 de Julio del 2013	Sin precipitación pluvial, en las noches la temperatura desciende a -1°C. y comprende del mes de Mayo a Agosto del 2013

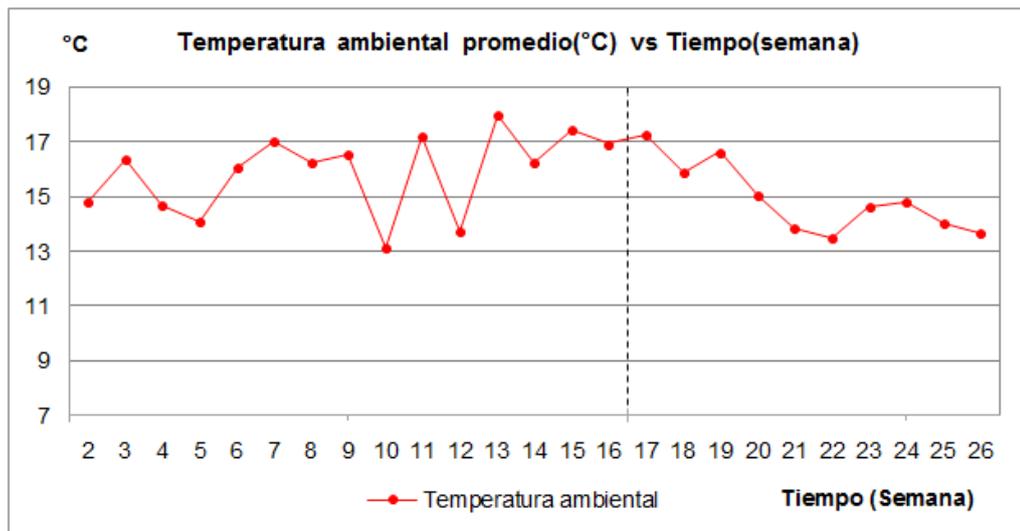
Durante el período de lluvias la máxima temperatura diaria es 22°C y la mínima es 10°C y un promedio 16.6°C, para el período de heladas, la máxima temperatura en el día es 20°C y la mínima es 8°C y un promedio de 15.1°C, de acuerdo a estos períodos climáticos la etapa 1 el reactor UASB-Digestor se dio en la época de lluvias de la semana 1- semana 12, la mayor parte de la etapa 2 del reactor UASB-Digestor se ejecutó en el período climático de heladas, característico en el departamento de Puno. Las temperaturas promedio por semana (Ver gráfico N°6.2) permite tener una mejor visión de toda la investigación, se aprecia que la mínima temperatura ambiental semanal es 13.1°C y un máxima de 17.9°C y un promedio semanal de 15.7°C. Durante la temporada de lluvias (verano) la mínima temperatura semanal es 13.1°C, máxima de 17.9°C y promedio de 15.8°C, para la temporada de helada (invierno) la mínima temperatura semanal es 13.4°C, máxima de 17.2°C y un promedio de 14.9°C.

B) TEMPERATURA EN PUNTO DE MUESTREO

Se tiene 4 puntos de muestreo; Pto A, Pto B, Pto C, Pto D, Pto E. (Ver fotografía N° 5.8)

➤ **PUNTO A**

Los resultados de la medición diaria (Ver gráfico N°6.3) una máxima de 21°C, mínima de 7°C y promedio de 14.2°C son las temperaturas diarias durante las 26 semanas.



Donde:

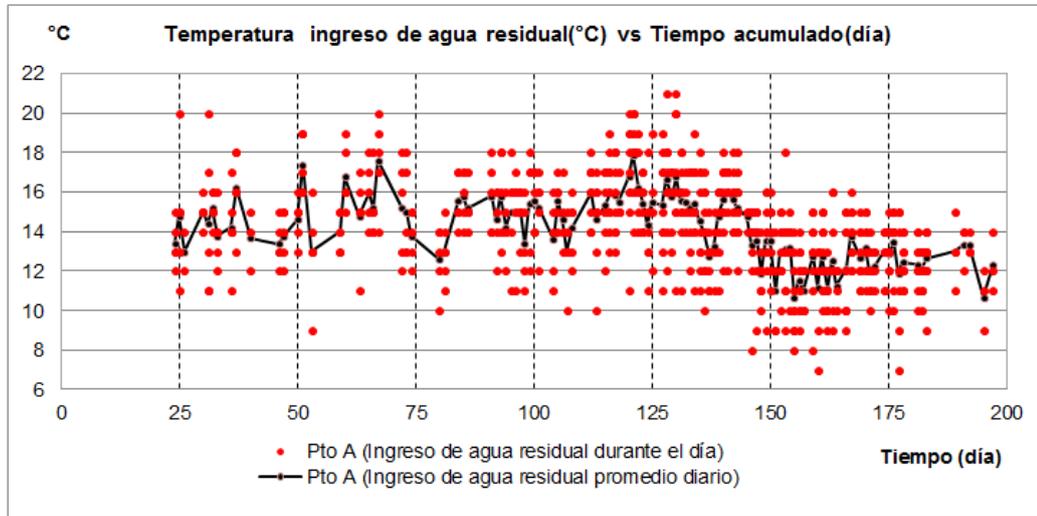
Época de lluvia (0-16 semana)

Época de helada (17-26 semana)

Gráfico N° 6.2: Temperatura ambiental promedio (°C) vs Tiempo acumulado (semanas)

De acuerdo al cuadro N° 6.29, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 9°C, máxima de 20°C y un promedio diario 14.9°C. Para la temporada de helada, la mínima temperatura es 7°C, máxima de 21°C y en promedio 13.4°C. Respecto al a temperatura promedio semanal (Ver gráfico N° 6.4), la temperatura mínima es 12.1°C, máxima de 15.9°C y en promedio 14.2°C.

De acuerdo al cuadro N° 6.29, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 12.8°C, máxima de 15.9°C y un promedio diario 14.6°C. Para la temporada de helada, la mínima temperatura es 12.1°C, máxima de 15.9°C y en promedio 13.3°C.



Donde:

Época de lluvia (0-125día)

Época de helada (126-200día)

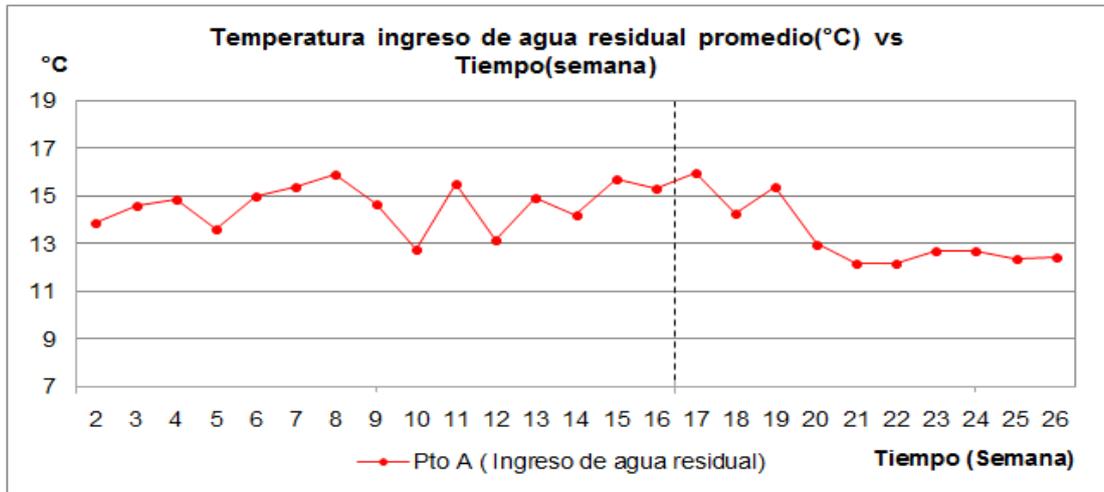
Gráfico N° 6.3: Temperatura Pto A (°C) vs Tiempo acumulado (días)

➤ PUNTO C

Los resultados de la medición diaria (Ver gráfico N°6.5) una máxima de 45°C, mínima de 12°C y promedio de 30.8°C son las temperaturas diarias durante las 26 semanas.

De acuerdo al cuadro N° 6.27, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 16°C, máxima de 45°C y un promedio diario 32.9°C. Para la temporada de helada, la mínima temperatura es 12°C, máxima de 39°C y en promedio 28.8°C.

Respecto al a temperatura promedio semanal (Ver gráfico N° 6.6), la temperatura mínima es 23.7 °C, máxima de 37.4°C y en promedio 30.86°C. De acuerdo al cuadro N° 6.29, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 23.7°C, máxima de 37.4°C y un promedio diario 32.8°C. Para la temporada de helada, la mínima temperatura es 25.8°C, máxima de 31.5°C y en promedio 28.5°C

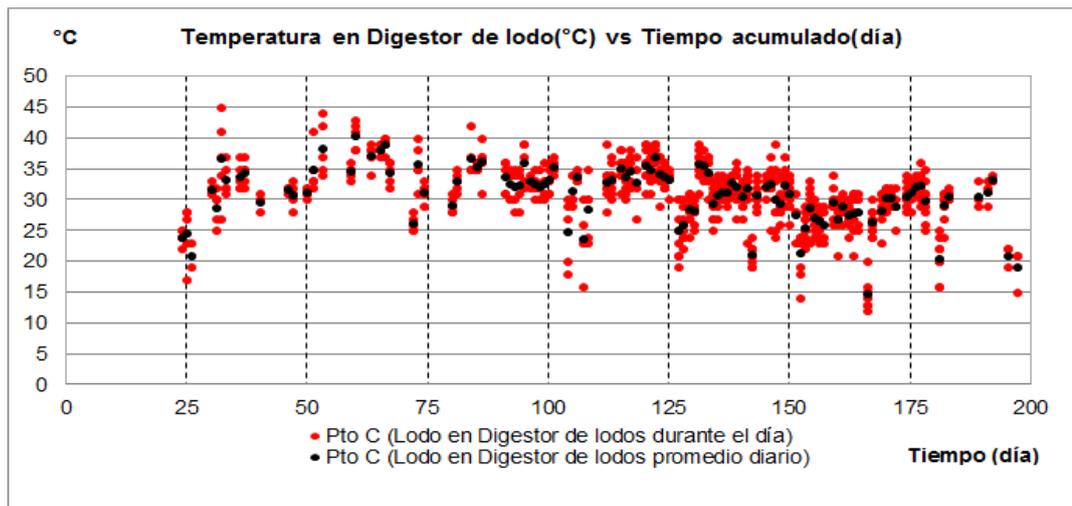


Donde:

Época de lluvia (0-16 semana)

Época de helada (17-26 semana)

Gráfico N° 6.4: Temperatura promedio en Pto A (°C) vs Tiempo acumulado (semanas)



Donde:

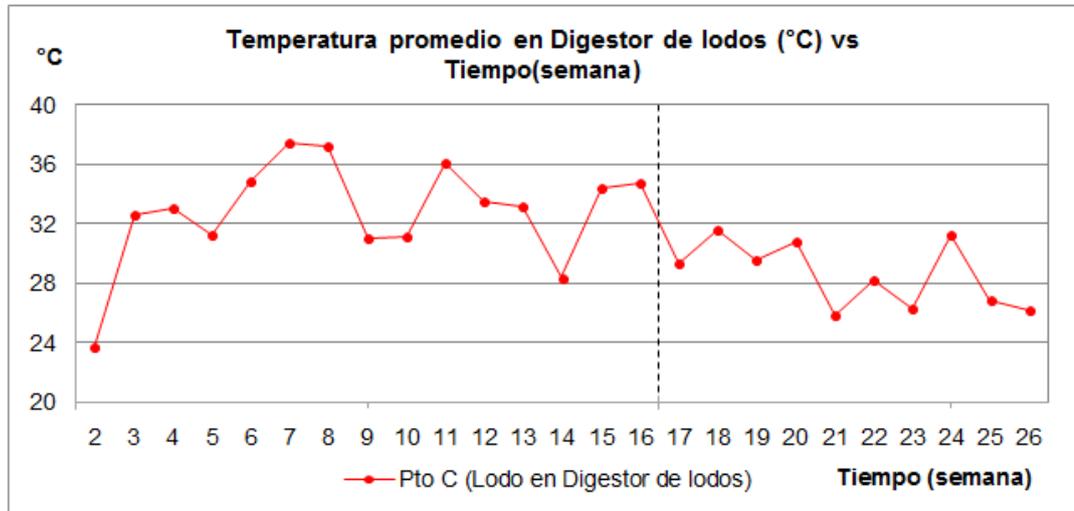
Época de lluvia (0-125 día)

Época de helada (126-200 día)

Gráfico N° 6.5: Temperatura Pto C (°C) vs Tiempo acumulado (días)

➤ PUNTO D

Los resultados de la medición diaria (Ver gráfico N°6.7) una máxima de 35°C, mínima de 9°C y promedio de 25.71°C son las temperaturas diarias durante las 26 semanas.



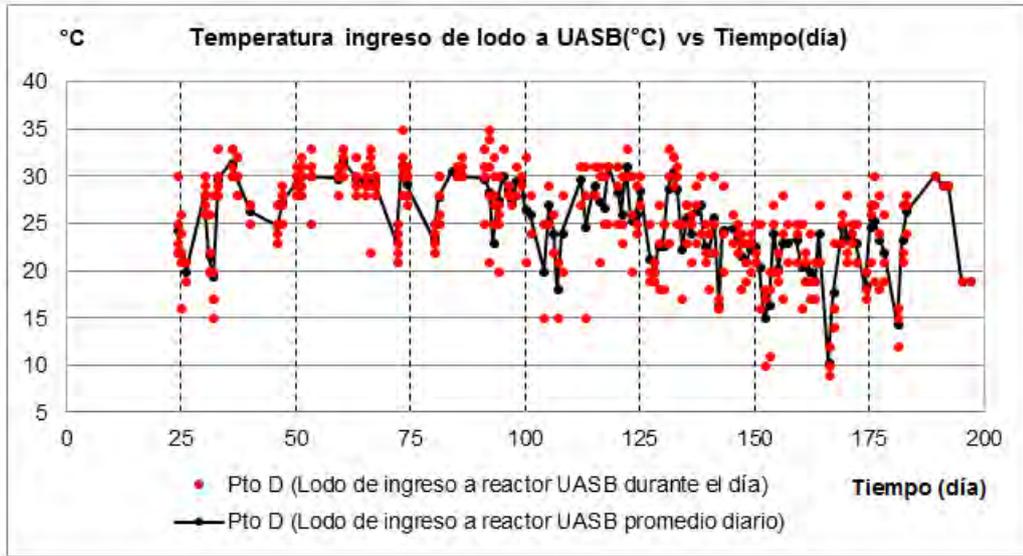
Donde:

Época de lluvia (0-16 semana)

Época de helada (17-26 semana)

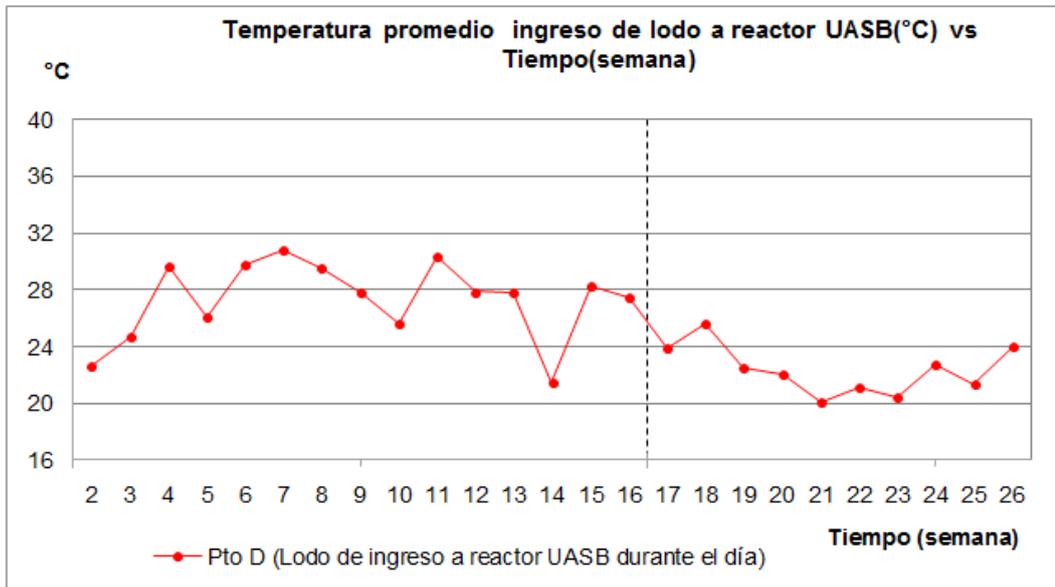
Gráfico N° 6.6: Temperatura promedio en Pto C (°C) vs Tiempo acumulado (semanas)

De acuerdo al cuadro N° 6.29, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 15°C, máxima de 35°C y un promedio diario 27.4°C. Para la temporada de helada, la mínima temperatura es 9°C, máxima de 33°C y en promedio 22.3°C. Respecto al a temperatura promedio semanal (Ver gráfico N° 6.8), la temperatura mínima es 20.1 °C, máxima de 30.8°C y en promedio 25.7°C.



Donde:
 Época de lluvia (0-125 día)
 Época de helada (126-200 día)

Gráfico N° 6.7: Temperatura Pto D (°C) vs Tiempo acumulado (días)



Donde:
 Época de lluvia (0-16 semana)
 Época de helada (17-26 semana)

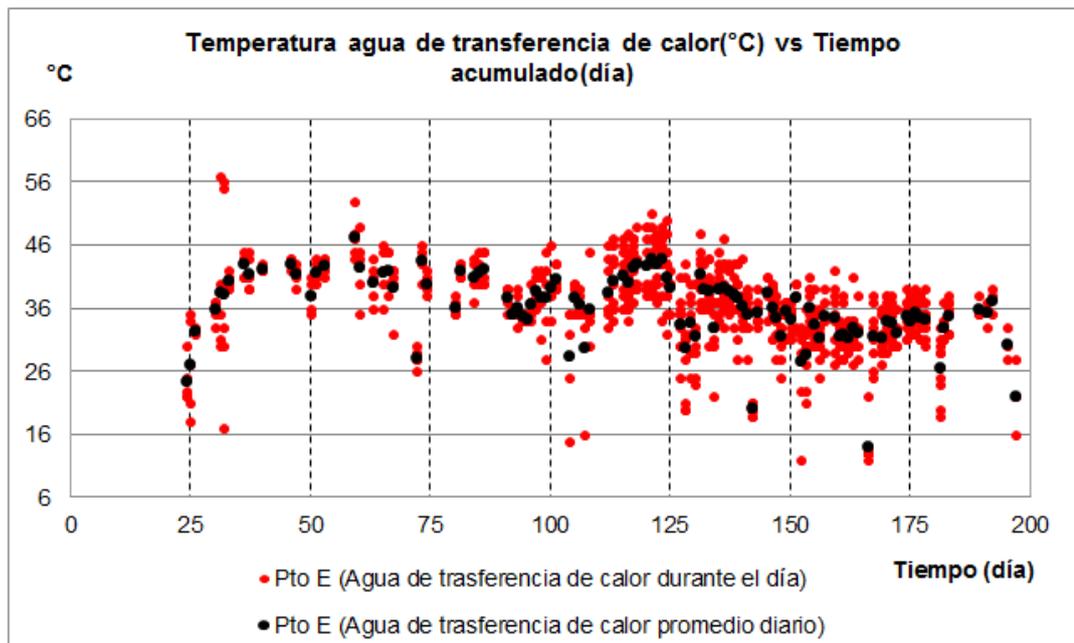
Gráfico N° 6.8: Temperatura promedio en Pto D (°C) vs Tiempo acumulado (semanas)

De acuerdo al cuadro N° 6.29, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 21.5°C, máxima de 30.8°C y un promedio diario 27.3°C. Para la temporada de helada, la

mínima temperatura es 20.1°C, máxima de 25.5°C y en promedio 22.3°C.

➤ **PUNTO E**

Los resultados de la medición diaria (Ver gráfico N°6.9) una máxima de 57°C, mínima de 12°C y promedio de 36.2°C son las temperaturas diarias durante las 26 semanas.



Donde:

Época de lluvia (0-125día)

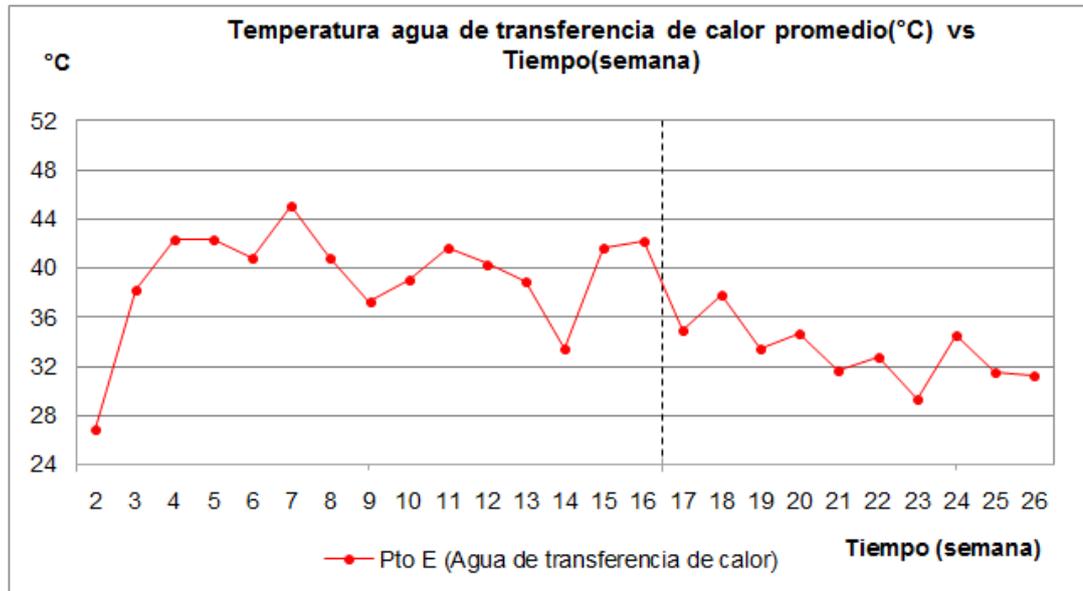
Época de helada (126-200día)

Gráfico N° 6.9: Temperatura Pto E(°C) vs Tiempo acumulado (días)

De acuerdo al cuadro N° 6.29, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 15°C, máxima de 57°C y un promedio diario 39.2°C. Para la temporada de helada, la mínima temperatura es 12°C, máxima de 48°C y en promedio 33.3°C.

Respecto al a temperatura promedio semanal (Ver gráfico N° 6.10), la temperatura mínima es 26.8 °C, máxima de 45.0°C y en promedio 36.2°C. De acuerdo al cuadro N°

6.27, para la temporada de lluvias la mínima temperatura es 26.8°C, máxima de 45.0°C y un promedio diario 39.40°C. Para la temporada de helada, la mínima temperatura es 29.2°C, máxima de 37.8°C y en promedio 33.1°C.



Donde:

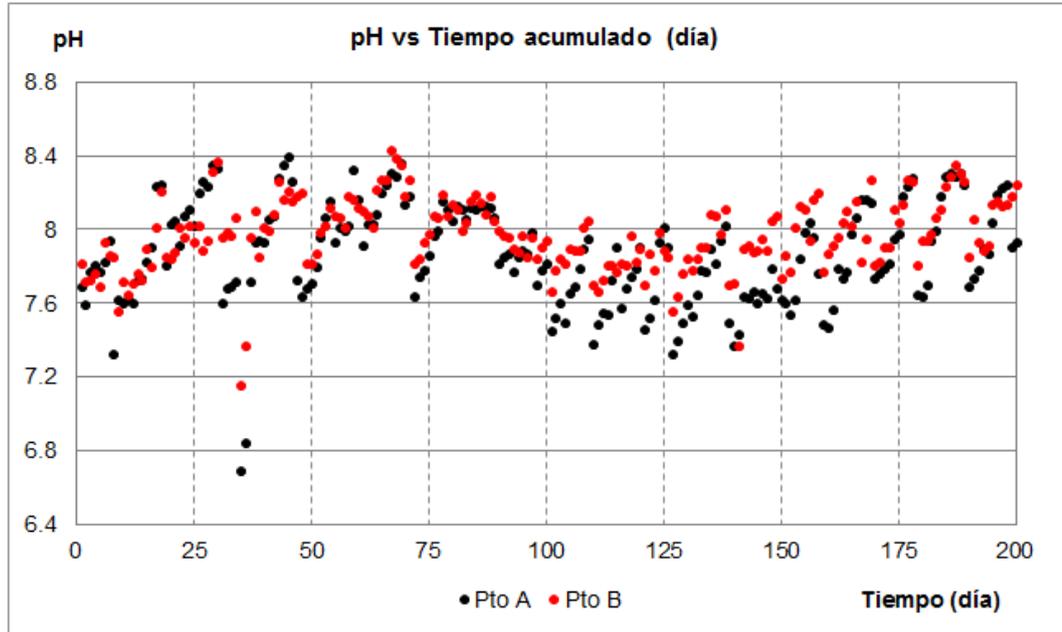
Época de lluvia (0-16 semana)

Época de helada (17-26 semana)

Gráfico N° 6.10: Temperatura promedio en Pto E(°C) vs Tiempo acumulado (semanas)

C) PH

Se midieron en los puntos de muestro A y B, los resultados de monitoreo diario (Ver gráfico 6.11).



Donde:

Época de lluvia (0-125día)

Época de helada (126-200día)

Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB

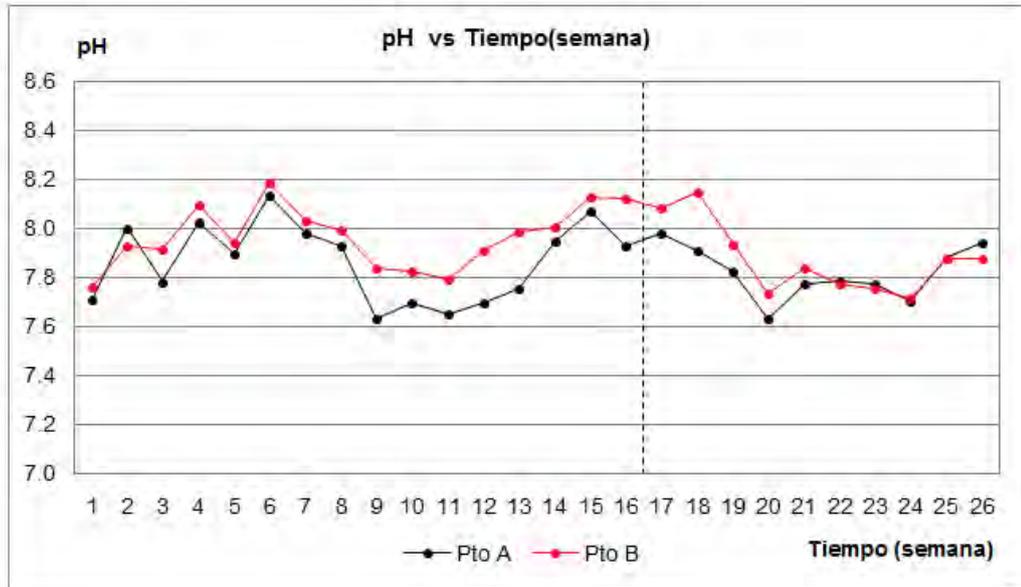
Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.11: Potencial de hidrógeno (pH) vs Tiempo acumulado (días)

Para el punto A el mínimo valor de pH es 6.69, máximo 8.5 y en promedio 7.85, para el punto B el mínimo valor de pH es 7.16, máximo 8.43 y en promedio 7.94 en todo el periodo de investigación.

Durante el periodo de lluvias (Ver cuadro N° 6.29) para el punto A el mínimo valor de pH es 6.69, máximo 8.40 y en promedio 7.87, para el punto B el mínimo valor de pH es 7.16, máximo 8.43 y en promedio 7.98.

Durante el periodo de heladas (Ver cuadro N° 6.29) para el punto A el mínimo valor de pH es 7.34, máximo 8.50 y en promedio 7.82, para el punto B el mínimo valor de pH es 7.39, máximo 8.33 y en promedio 7.87. Para tener una mejor lectura del monitoreo se graficó el promedio por semana (Ver gráfico N° 6.12)



Donde:

Época de lluvia (0-16semana)

Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB

Época de helada (17-26semana)

Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.12: Potencial de hidrógeno promedio (pH) vs Tiempo acumulado(semanas)

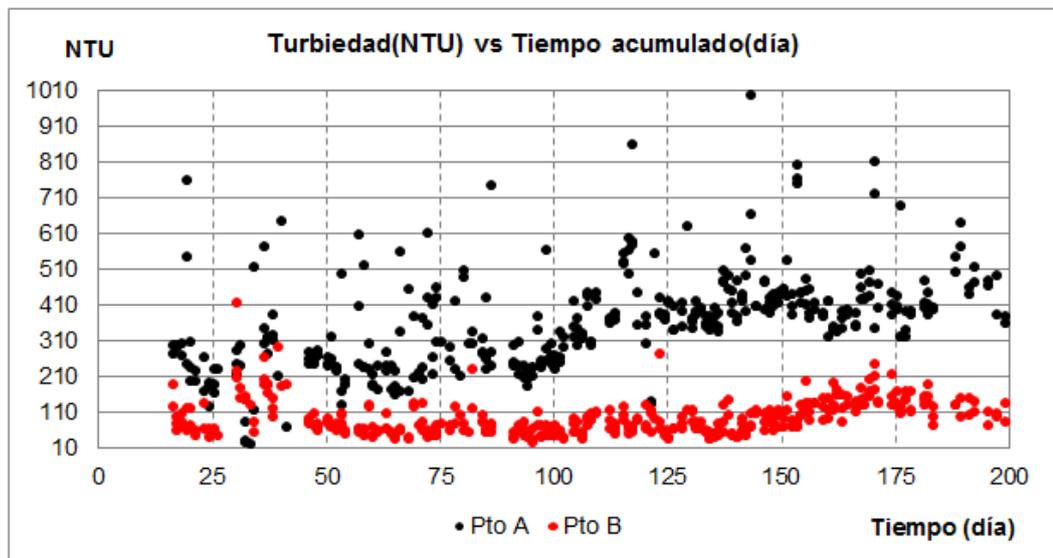
Para el punto A el mínimo valor de pH es 7.63, máximo 8.13 y en promedio 7.85, para el punto B el mínimo valor de pH es 7.72, máximo 8.19 y en promedio 7.93 durante las 26 semanas.

Durante el período de lluvias (Ver cuadro N° 6.29) para el punto A el mínimo valor de pH es 7.63, máximo 8.13 y en promedio 7.86, para el punto B el mínimo valor de pH es 7.76, máximo 8.19 y en promedio 7.97.

Durante el período de heladas (Ver cuadro N° 6.29) para el punto A el mínimo valor de pH es 7.63, máximo 7.98 y en promedio 7.82, para el punto B el mínimo valor de pH es 7.72, máximo 8.15 y en promedio 7.87.

D) TURBIEDAD

Parámetro monitoreado en las 26 semanas de investigación, en los puntos A y B, los resultados de la medición diaria (Ver gráfico N° 6.13)



Donde:

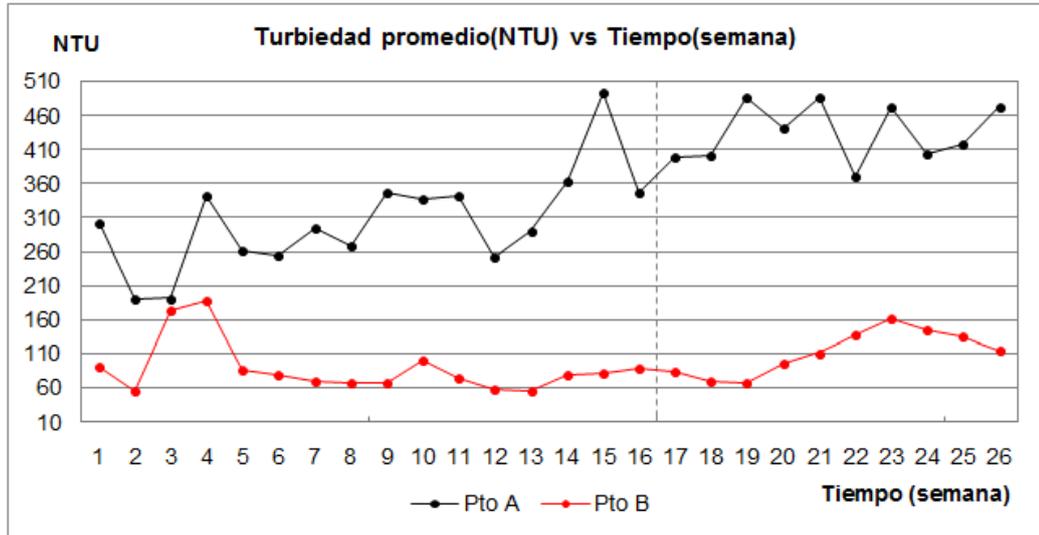
Época de lluvia (0-16 semana) *Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB*
 Época de helada (17-26 semana) *Punto B: Salida de reactor UASB*

Gráfico N° 6.13: Turbiedad (NTU) vs Tiempo acumulado (días)

En el punto A, la turbiedad mínima fue de 24.8 NTU, máxima de 1000 NTU y en promedio 363.5 NTU, para el punto B la turbiedad mínima fue 28.3 NTU, máxima de 410 NTU y en promedio 96.7 NTU.

El resultado para la época de lluvia en el punto A, la turbiedad, mínima 24.8 NTU, máxima es 862 NTU y en promedio 310.8NTU. Para el punto B, la turbiedad mínima 28.3NTU, máxima de 419NTU y en promedio 86.45NTU.

El resultado para la época de heladas en el punto A, la turbiedad, mínima 322NTU, máxima de 1000NTU y en promedio 437.1NTU. Para el punto B, la turbiedad mínima 36.5NTU, máxima de 247NTU y en promedio 111NTU.



Donde:

Época de lluvia (0-16 semana)

Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB

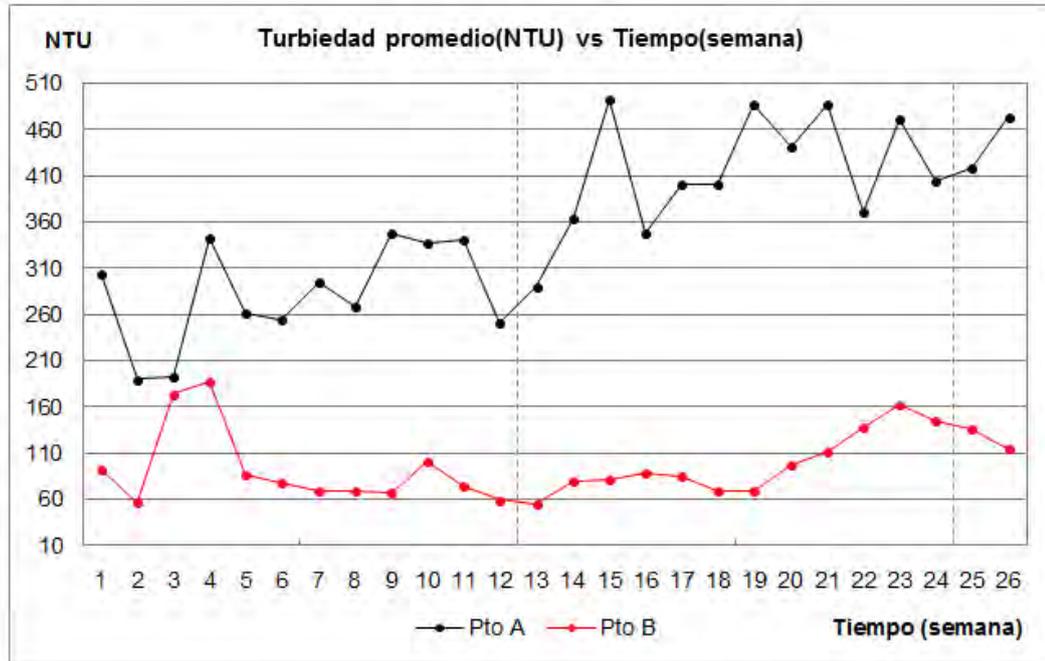
Época de helada (17-26 semana)

Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.14: Turbiedad promedio (NTU) vs Tiempo acumulado (semanas)-1

De los resultados diarios evaluamos los resultados promedio por semana (Ver gráfico N° 6.14), nos muestran que la turbiedad en el punto A, la mínima es 189.57NTU, una máxima de 492.76NTU y en promedio 363.5 NTU, para el punto B, la mínima es 54.74NTU, una máxima de 187.73NTU y en promedio 96.7 NTU, durante las 26 semanas de investigación.

El resultado para la época de lluvia en el punto A, la turbiedad, mínima 189.6NTU, máxima es 492.8NTU y en promedio 310.8NTU. Para el punto B, la turbiedad mínima 54.7NTU, máxima de 187.7NTU y en promedio 86.45NTU. Para época de helada, para el punto A, la turbiedad, mínima 370.2NTU, máxima es 486.9NTU y en promedio 437.1NTU. Para el punto B, la turbiedad mínima 68.2NTU, máxima de 161.6NTU y en promedio 111NTU.



Donde:

Etapa 1 (0-12semana)

Etapa 2 (13-24semana)

Etapa 3 (25-26semana)

Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB

Punto B: Salida de reactor UASB

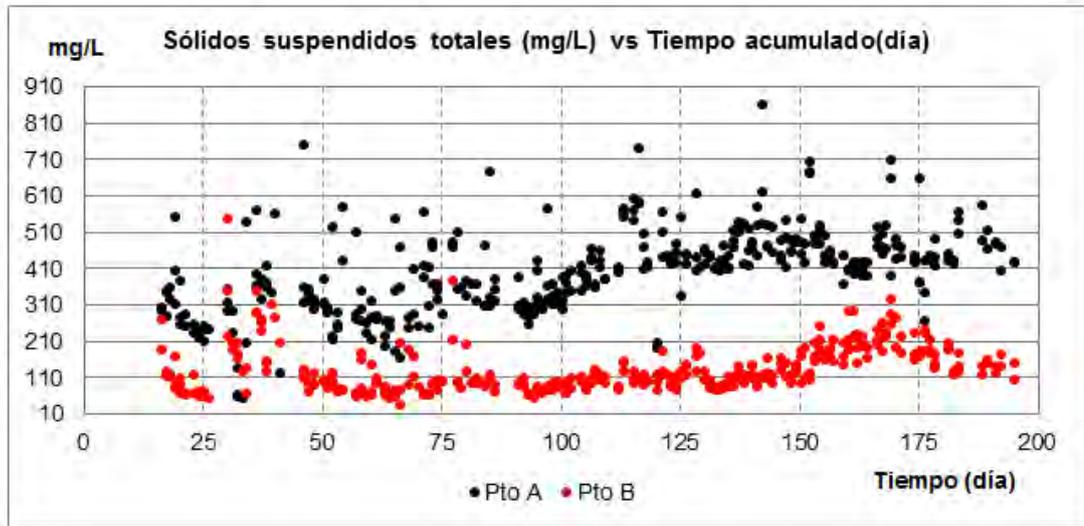
Gráfico N° 6.15: Turbiedad promedio (NTU) vs Tiempo acumulado (semanas)-2

Los resultados promedio por semana en relación a las etapas de investigación (Ver gráfica N° 6.15) en la etapa 1 para el para el punto A, la mínima turbiedad es 189.5NTU, máxima de 346.8NTU. Punto B, la mínima turbiedad es 56.3NTU, máxima de 187.7NTU.

Para la etapa 2 para el punto A, la mínima turbiedad es 288.8NTU, máxima de 492.7NTU. Respecto al punto B, la mínima turbiedad resultado para la semana 13 con 54.7NTU, la máxima turbiedad resultado para la semana 24 161.6NTU.

E) SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Parámetro monitoreado en las 26 semanas de investigación, en los puntos A y B, los resultados de la medición diaria (Ver gráfico N° 6.16)



Donde:

Época de lluvia (0-16 semana)

Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB

Época de helada (17-26 semana)

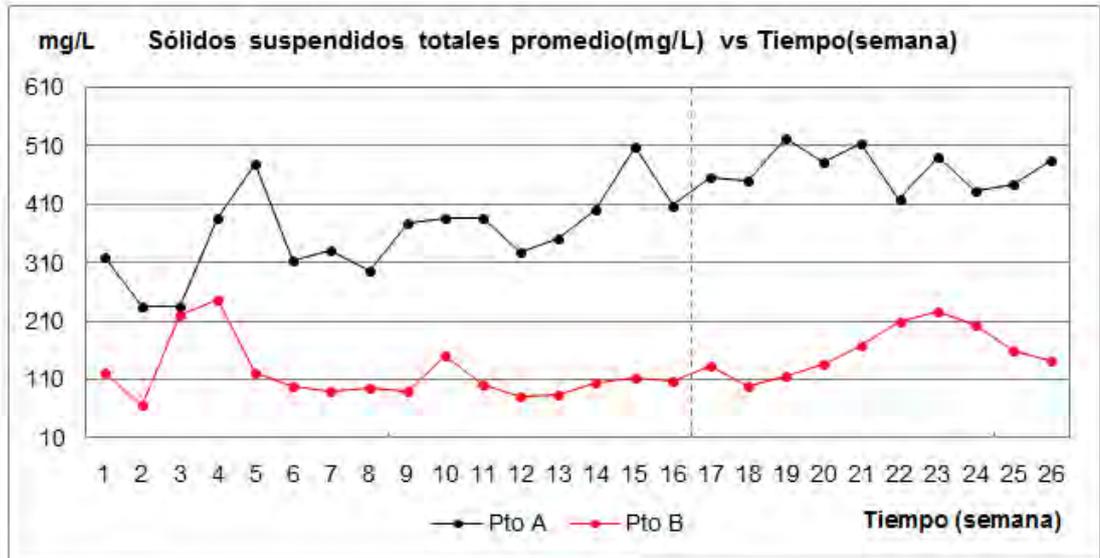
Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.16: Sólidos suspendidos totales (mg/L) vs Tiempo acumulado (días)

En el punto A los SST mínima fue 56mg/L, máxima de 862mg/L y en promedio 405.3mg/L. En el punto B, los SST, mínima fue de 37mg/L, máxima de 549mg/L y en promedio 133.4mg/L

El resultado para la época de lluvia en el punto A los SST mínima 56mg/L, máxima es 755mg/L y en promedio 357.3mg/L. Para el punto B, un valor mínimo 37mg/L, máxima de 549mg/L y en promedio 114.9mg/L.

El resultado para la época de heladas en el punto A, una mínima 270mg/L, máxima de 862mg/L y en promedio 471.9mg/L. Para el punto B, una mínima 80mg/L, máxima de 329mg/L y en promedio 159mg/L.



Donde:

Época de lluvia (0-16 semana)

Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB

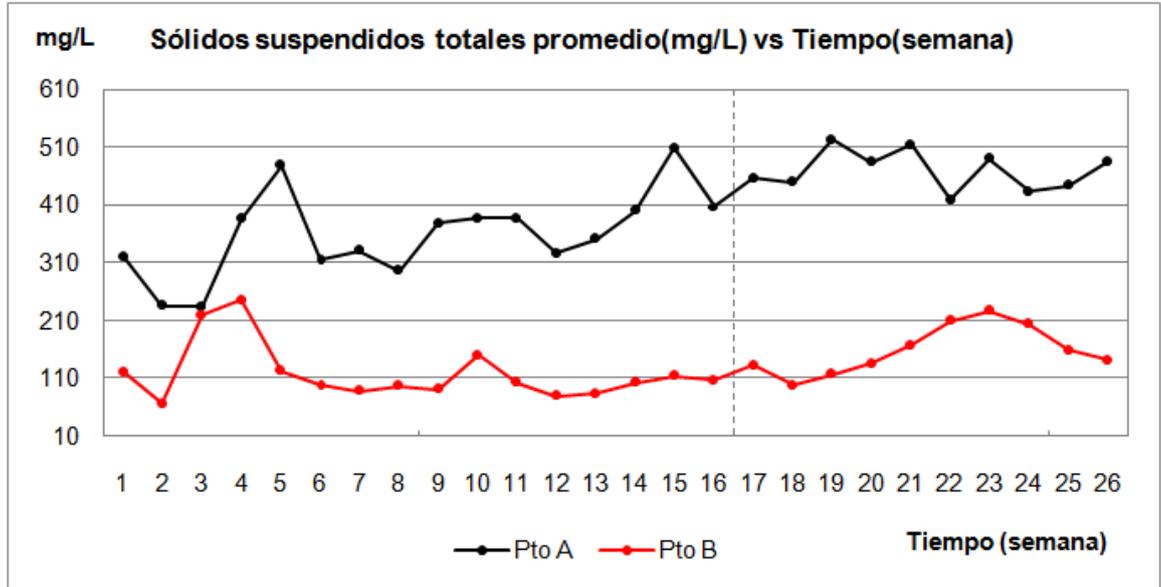
Época de helada (17-26 semana)

Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.17: Sólidos suspendidos totales promedio (mg/L) vs Tiempo acumulado (semanas)-1

De los resultados diarios evaluamos los resultados promedio por semana (Ver gráfico N° 6.17), nos muestran en el punto A, la mínima es 234.2mg/L, una máxima de 522.3mg/L y en promedio 405.3mg/L., para el punto B, la mínima es 66mg/L, una máxima de 245.8mg/L y en promedio 133.4mg/L, durante las 26 semanas de investigación.

El resultado para la época de lluvia en el punto A, mínima 234.2mg/L, máxima es 508.6mg/L y en promedio 357.3mg/L. Para el punto B, mínima 66mg/L, máxima de 245.8mg/L y en promedio 114.9mg/L. Para época de helada, para el punto A, mínima 418.8mg/L, máxima es 522.3mg/L y en promedio 471.9mg/L. Para el punto B, la turbiedad mínima 97.9mg/L, máxima de 226.4mg/L y en promedio 159mg/L.



Donde:

Etapa 1 (0-12semana)

Etapa 2 (13-24semana)

Etapa 3 (25-26semana)

Punto A: Ingreso de agua residual a reactor UASB

Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.18: Sólidos suspendidos totales promedio (mg/L) vs Tiempo acumulado (semanas)-2

Los resultados promedio por semana en relación a las etapas de investigación (Ver gráfica N° 6.18) en la etapa 1 para el punto A, la mínima 234.2mg/L, máxima de 478.7mg/L. Punto B, la mínima es 66mg/L, máxima de 245.8mg/L.

Para la etapa 2 para el punto A, la mínima es 350.9mg/L, máxima de 522.3mg/L. Respecto al punto B, la mínima resultado para la semana 13 con 83.3mg/L, la máxima resultado para la semana 25. con 226.4mg/L.

F) SÓLIDOS TOTALES

Parámetro monitoreado a partir de la etapa 2, a continuación se detallan la composición de los sólidos totales medidos en la investigación.

Sólidos Totales (ST)

- **Sólidos suspendidos volátiles(SSV)**
- **Sólidos disueltos volátiles(SDV)**
- **Sólidos suspendidos fijos(SSF)**
- **Sólidos disueltos fijos(SDF)**

Donde:

$$ST=SSV+SDV+SSF+SDF$$

$$SST \text{ (Sólidos suspendidos)}=SSV+SSF$$

$$SDT \text{ (Sólidos disueltos)}=SDV+SDF$$

$$SVT \text{ (Sólidos volátiles totales)}=SSV+SSF$$

$$SDT \text{ (Sólidos disueltos totales)}=SDV+SDF$$

Los resultados muestran (Ver gráfico N° 6.19) que los sólidos totales en el punto A, están en el rango de 1200-2300 mg/L, en promedio 1458 mg/L, respecto a los cuatro componentes se tienen la siguiente composición: SSV representa 15.1%, SSF 9.7%, SDV 14% y SDF 61.1% de los sólidos totales en el punto A. La mayor concentración de sólidos totales resultó para la semana 15 con 2300 mg/L y la mínima en la semana 16 con 1200 mg/L.

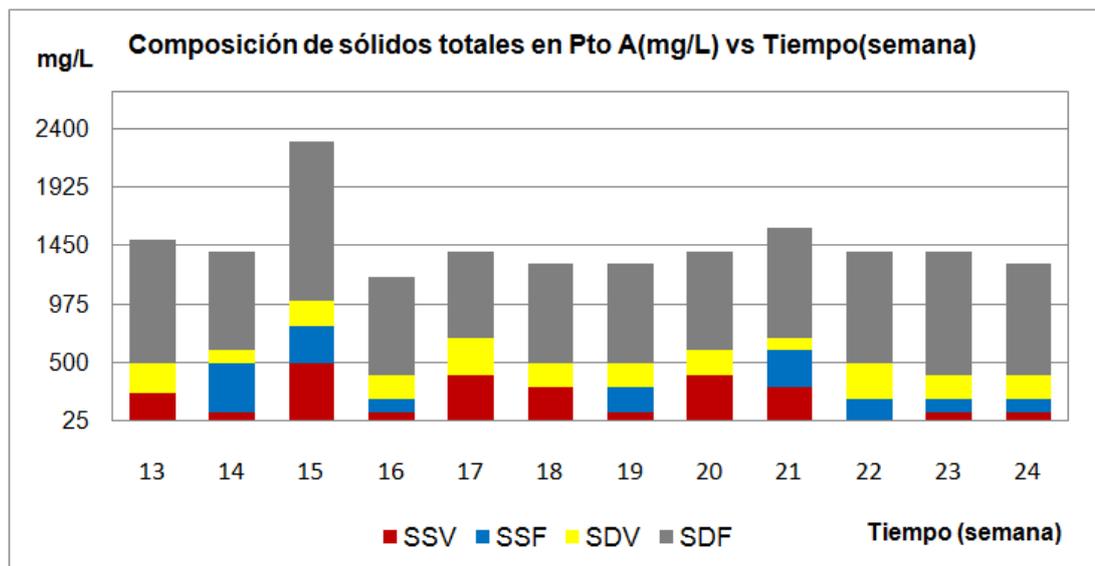


Gráfico N° 6.19: Sólidos totales en Pto A vs Tiempo acumulado (semanas)

Para el punto B la distribución de sólidos totales (Ver gráfico N° 6.20) muestra un rango de 900 a 1800mg/L y un promedio de 1175mg/L, respecto a los cuatro componentes sin tomar en cuenta con los TRH que se operó cada semana, tienen la siguiente composición: SSV representa 7.1%, SSF 5%, SDV 14.2% y SDF 73.8% de los sólidos totales en el punto B. La mayor concentración de sólidos totales se dio para la semana 15 con 1800mg/L para el TRH de 12 horas y la mínima en la semana 16 y 18 con 900mg/L, para el TRH de 12 y 14 horas respectivamente.

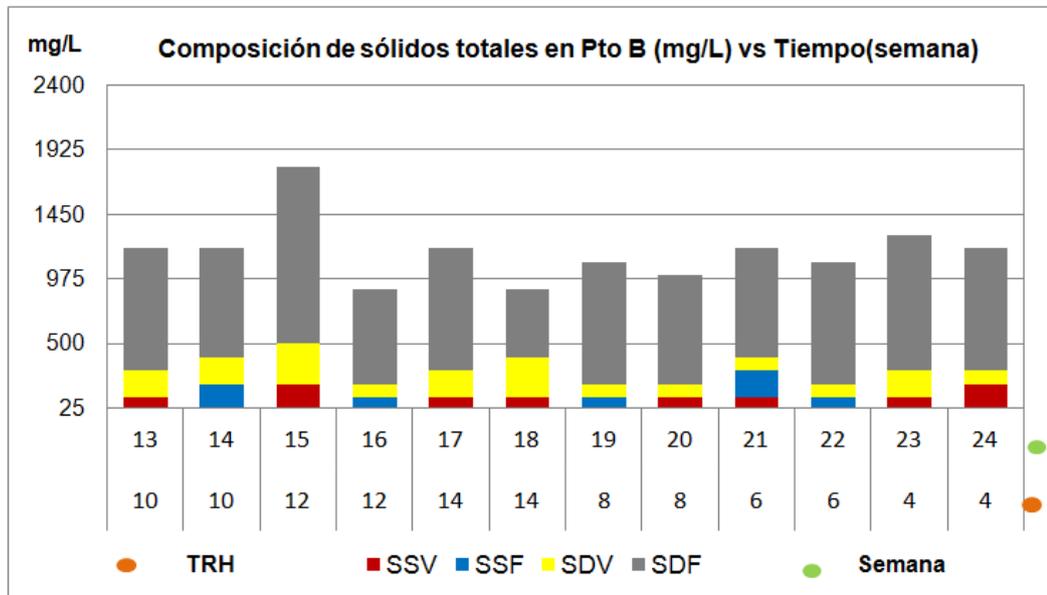


Gráfico N° 6.20: Sólidos totales en Pto B vs Tiempo acumulado (semanas)

G) SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

El comportamiento de los sólidos disueltos respecto a los sólidos totales (Ver gráfico N°6.21), para el punto A, los SDT representa un 75.4% de los sólidos totales durante las semanas de la etapa 2.

Para el punto B (ver gráfica N°6.22), los SDT representa un 87.9% de los sólidos totales durante las semanas

evaluadas, en el punto A se tiene un promedio de SDT 1096mg/L, para el punto B, el promedio de SDT es 1033mg/L, donde resulta que hay una ligera remoción de $SDT(A) > SDT(B)$.

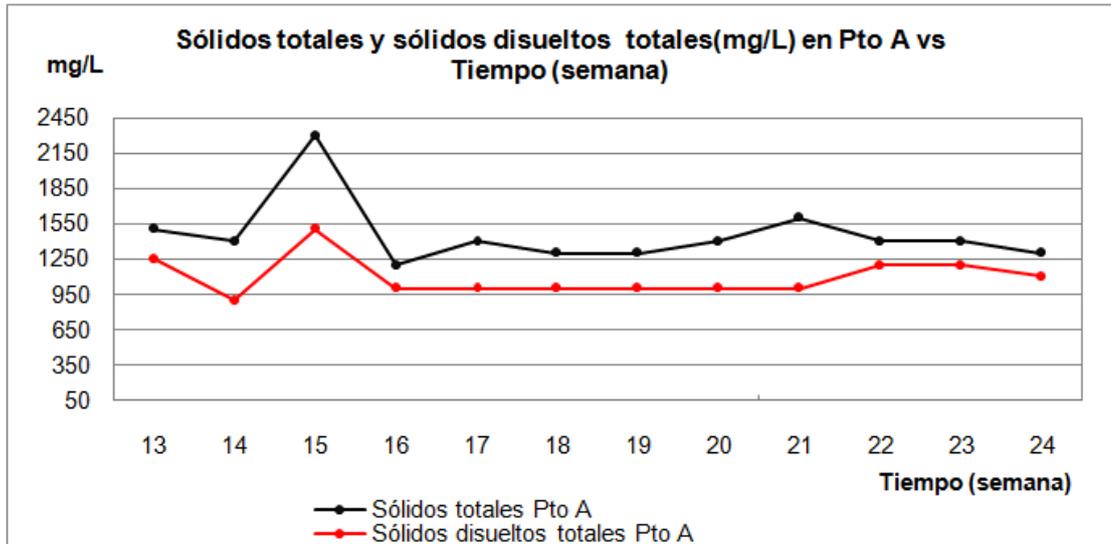


Gráfico N° 6.21: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en Pto A vs Tiempo acumulado (semanas)

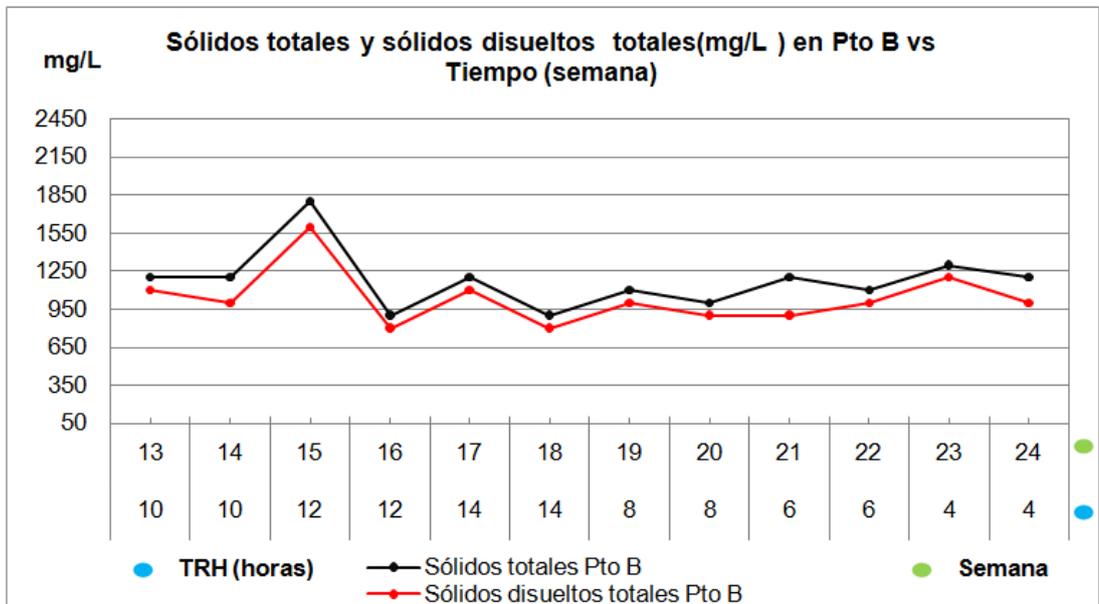


Gráfico N° 6.22: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en Pto B vs Tiempo acumulado (semanas)

H) SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

El comportamiento de los sólidos volátiles respecto a los sólidos totales (Ver gráfico N°6.23), para el punto A, los SVT representa un 24.9% de los sólidos totales durante las semanas de evaluación.

Para el punto B (ver gráfica N°6.24), los SVT representa un 12.1% de los sólidos totales durante las semanas evaluadas, en el punto A se tiene un promedio de SVT 363mg/L, para el punto B, el promedio de SVT es 142mg/L, donde resulta que hay una remoción significativa de Sólidos volátiles, $SVT(A) > SVT(B)$.

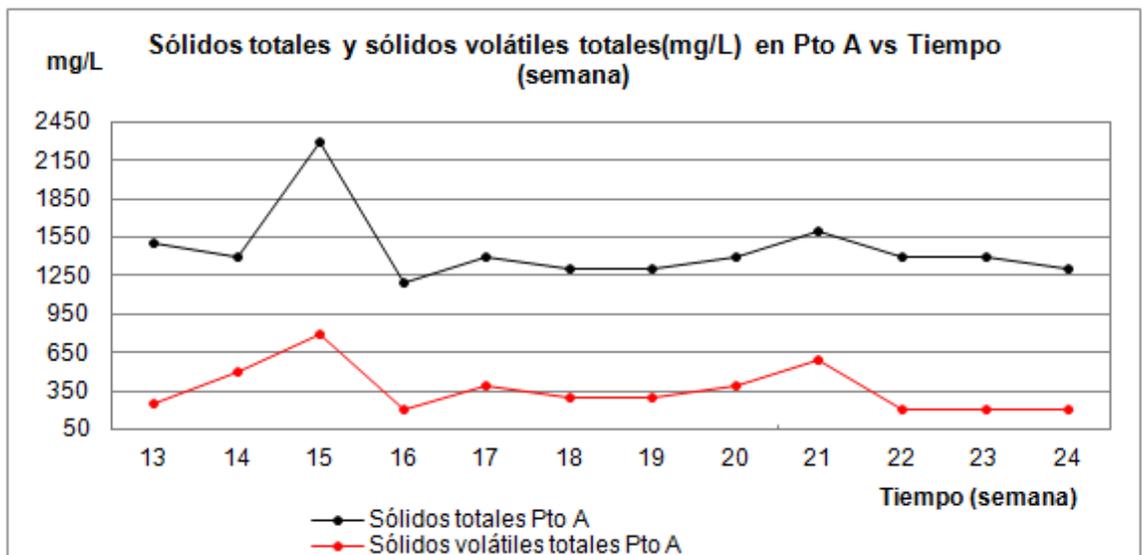


Gráfico N° 6.23: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en Pto A vs Tiempo acumulado (semanas)

I) SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Monitoreados a partir de la etapa 2, los resultados por semana (Ver gráfico N° 5.25), nos indican que en el punto A, está en el rango de 1 a 3 ml/L/h y para el punto B, está en el rango de 0 a 1ml/L/h, donde solo para la semana 23 y 24 ,

se tiene 1ml/L/h , aplicado para el TRH de 4 horas, para todos los demás TRH en el punto B siempre los sólidos sedimentables es 0.0 ml/L/h

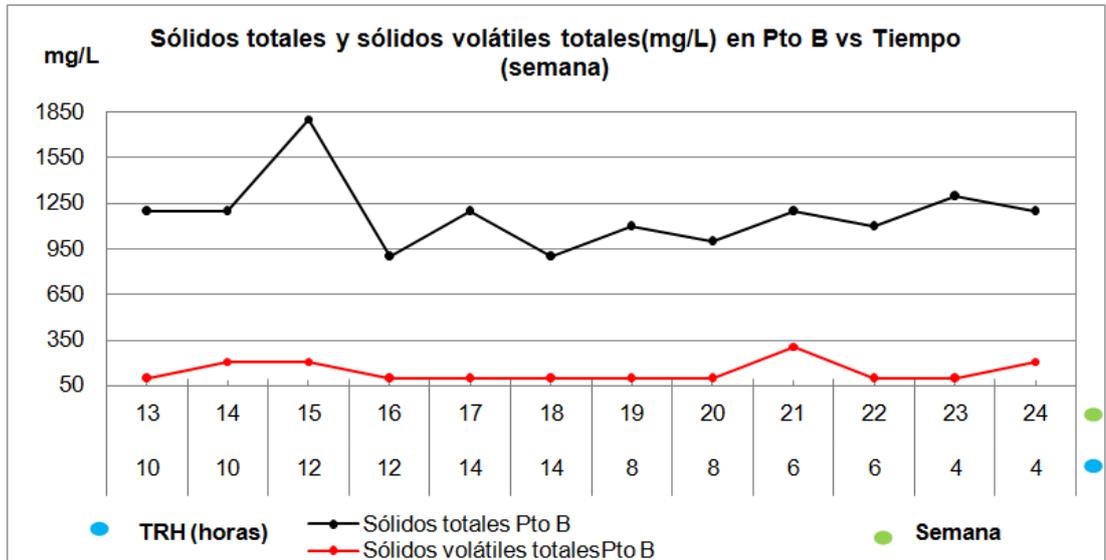
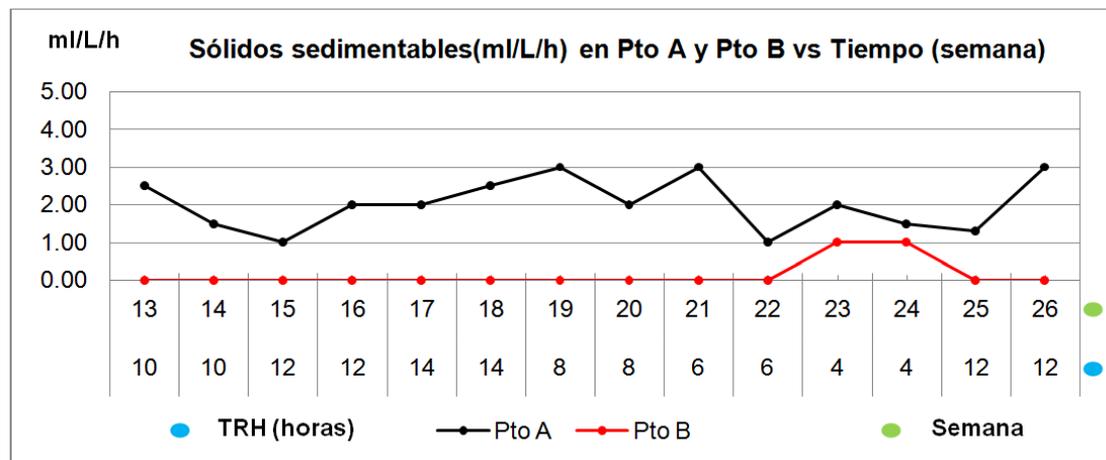


Gráfico N° 6.24: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en Pto B vs Tiempo acumulado (semanas)



Donde:

Punto A: Ingreso de agua residual a UASB

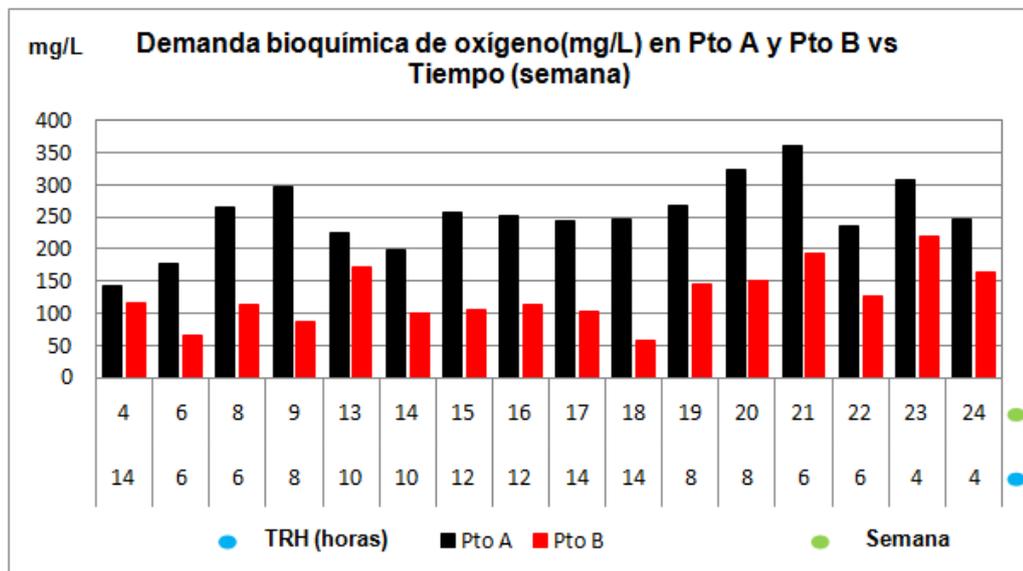
Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.25: Sólidos sedimentables (ml/L/h) en Pto A y Pto B vs Tiempo acumulado (semanas)

J) DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Previo a la evaluación del sistema UASB-Digestor se analizó la DBO₅ en la etapa 1 y 2 (Ver gráfico N° 5.26), para la etapa 1 en el punto A una DBO₅ mínima de 142.9mg/L, máxima de 298mg/L y en promedio 220.7mg/L. Para el punto B un DBO₅ mínima de 67.2mg/L, máxima de 117.5mg/L y en promedio 96.6 mg/L.

Para la etapa 2, para el punto A un DBO₅ mínima de 200mg/L, máxima de 361.4mg/L en promedio 263.5mg/L, para el punto B un DBO₅ mínima de 58.2mg/L para un TRH de 14 horas, máxima de 220.8mg/L para un TRH de 4 horas y en promedio 138.1mg/L. Comparando los resultados promedios de la etapa 2 sin considerar los TRH DBO₅ (263.5mg/L) > DBO₅(138.1mg/L) entonces en la etapa 2 si hay un importante remoción de materia orgánica.



Donde:

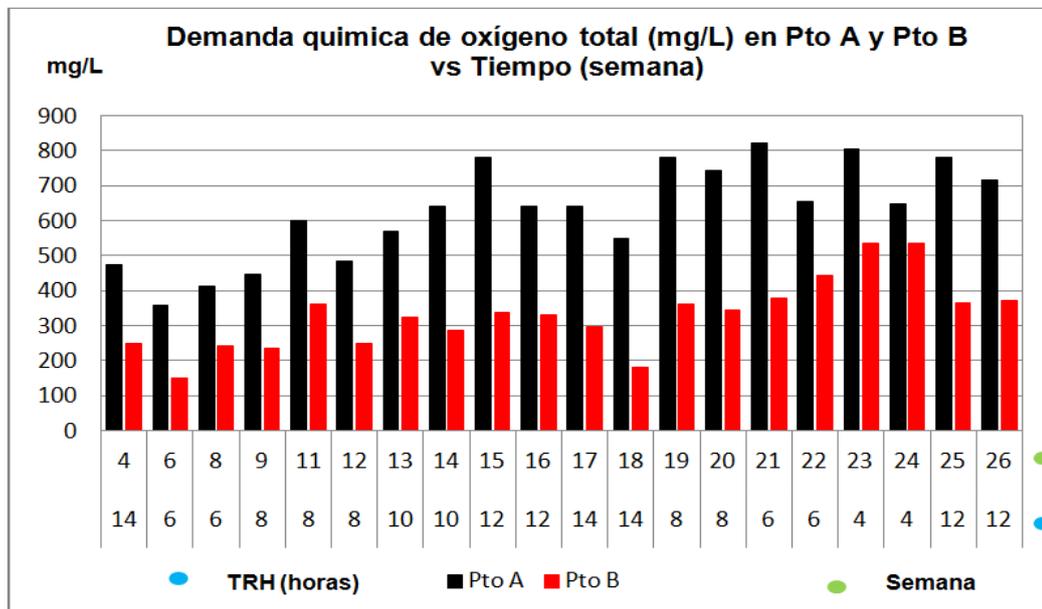
Punto A: Ingreso de agua residual a UASB

Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.26: Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L) en Pto A y Pto B vs Tiempo acumulado (semanas)

K) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL

Previo a la evaluación del sistema UASB-Digestor se analizó la DQO_{total} en la etapa 1, 2 y 3 (Ver gráfico N° 5.27), para la etapa 1 tenemos en el punto A un DQO total mínima de 358mg/L, máxima de 600mg/L y en promedio 462.2mg/L. Para el punto B un DQO_{total} mínima de 150mg/L, máxima de 363mg/L y en promedio 248.2mg/L. Para la etapa 2, para el punto A un DQO total mínima de 548mg/L, máxima de 822mg/L en promedio 697.5mg/L, para el punto B un DQO_{total} mínima de 179mg/L para un TRH de 14 horas, máxima de 536mg/L para un TRH de 4 horas, en promedio 363.4mg/L. Comparando los promedio de la etapa de 2 sin considerar los TRH en promedio DQO(697.5mg/L)>DQO(363.4mg/L) se comprueba que en todo el proceso de etapa 2 si hay un importante remoción de materia orgánica.



Donde:

Punto A: Ingreso de agua residual a UASB

Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.27: Demanda química de oxígeno total (mg/L) en Pto A y Pto B vs Tiempo acumulado (semanas)

L) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE

Previo a la evaluación del sistema UASB-Digestor se analizó la DQO soluble en la etapa 1 y 2 (Ver gráfico N° 6.28), para la etapa 1, en el punto A un DQO soluble mínima de 58mg/L, máxima de 282mg/L y en promedio 184.5mg/L. Para el punto B un DQO soluble mínima de 45mg/L, máxima de 272mg/L y en promedio 178mg/L.

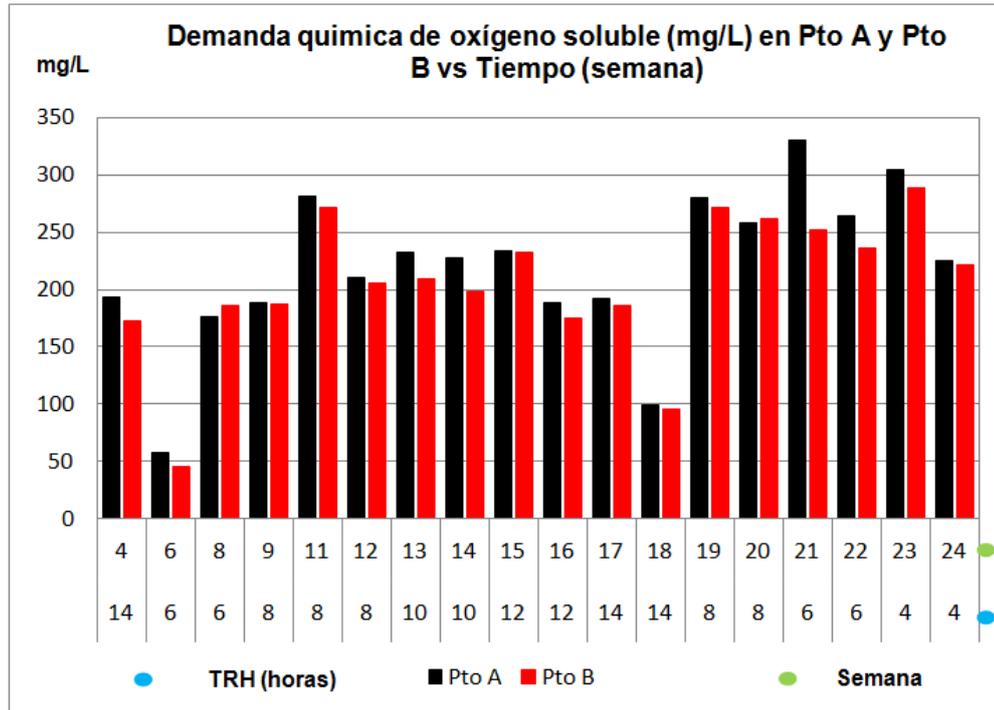
Para la etapa 2, para el punto A un DQO total mínima de 99mg/L, máxima de 331mg/L en promedio 236.4mg/L, para el punto B un DQO total mínima de 95mg/L para un TRH de 14 horas, máxima de 289mg/L para un TRH de 4 horas y en promedio 219.1mg/L. Comparando los promedio de la etapa 2 sin considerar los TRH,

DQO soluble (236.4mg/L) > DQO soluble (219.1mg/L)
comprobamos que en todo el proceso de etapa 2 si hay un remoción ligera.

M) PRODUCCIÓN DE GAS METANO

Se monitoreo a partir de la semana 15 de la investigación (día 121) en los puntos F y G, los resultados de medición diaria (Ver gráfico N° 6.29) para el punto F una mínimo 280ml/día, un máximo de 2280ml/día y en promedio 935.2ml/día.

Para el punto G un mínimo 288ml/día, máximo de 2580ml/día y en promedio 1004.1ml/día.



Donde:

Punto A: Ingreso de agua residual a UASB

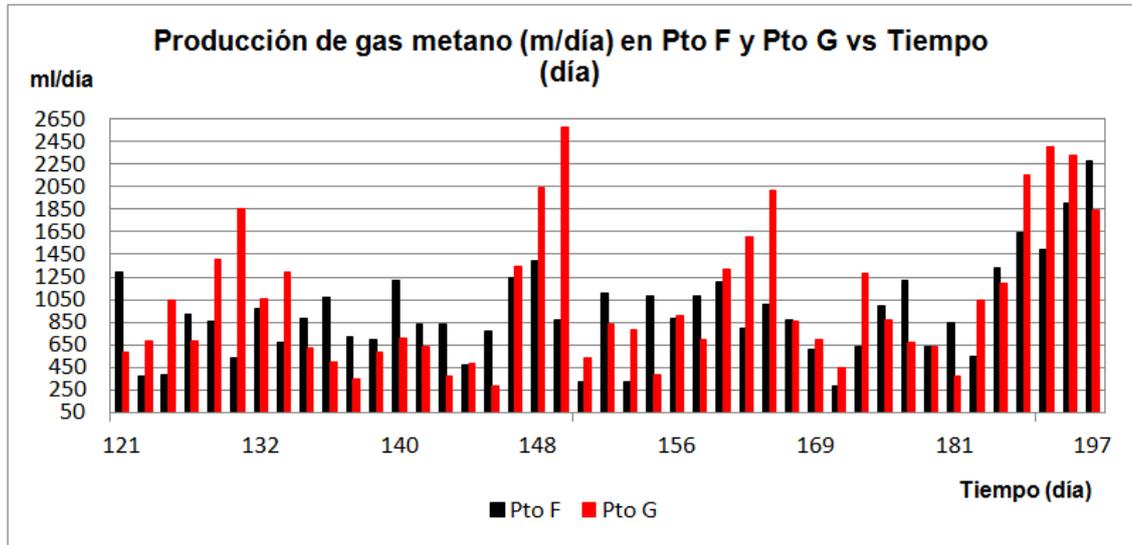
Punto B: Salida de reactor UASB

Gráfico N° 6.28: Demanda química de oxígeno soluble (mg/L) vs Tiempo acumulado (semanas)

La producción promedio de gas metano por semana (Ver gráfico N° 6.30), para el punto F una producción mínima de 417.5ml/día para un TRH de 12 horas, máxima de 1073.5ml/día para un TRH de 8 horas y en promedio 794.8ml/día, para el punto G una producción mínima de 513.5ml/día, máxima de 1565.5ml/día y un promedio 900ml/día, ambos para un TRH de 10 días.

Podemos evidenciar que la producción promedio de gas metano en el punto F (UASB) 794.8ml/día es menor a la producción del punto G (Digestor) 900ml/día. Hay una mejor producción de gas metano en el digestor que en el UASB. Pero la semana 25 y 26 fue operado el digestor con un TRH de 20 días y el UASB TRH de 12 horas, en el punto F se obtuvo en promedio 1372.8ml/día mejorando la producción que se obtuvo en TRH de 8 horas, en el punto

G(digestor) se obtuvo en promedio 1528.8ml/día, manteniéndose superior en promedio cuando el digestor tenía TRH de 10 días.



Donde:

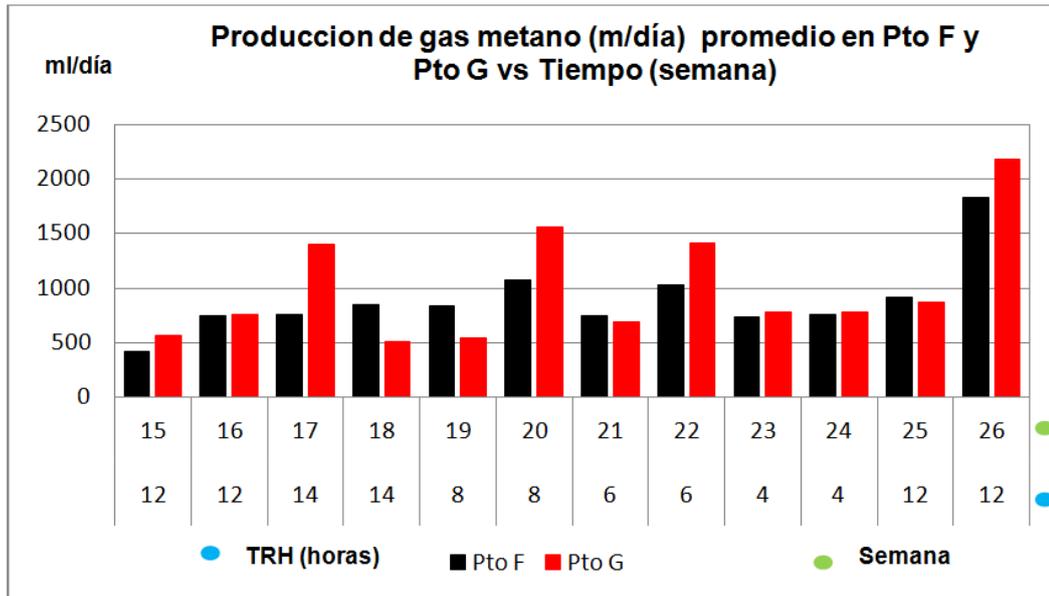
Punto F: Salida de gas metano del UASB

Punto G: Salida de gas metano del Digestor

Gráfico N° 6.29: Producción de gas metano (ml/día) en Pto F y Pto G vs Tiempo acumulado (días)

N) ALTURA DE LODO

La altura de lodo durante la etapa 1 presento muchas modificaciones tanto en el UASB y digestor, semanas antes de la etapa de 2, se varió la altura de lodo para el digestor de lodos. Para el UASB (Ver gráfica N° 6.31), se observa que la más baja altura es 29cm en la semana 4 para un caudal TRH de 14 horas y la máxima altura es para un TRH de 4 horas 107.9cm para la semana 24.



Donde:

Punto F: Salida de gas metano del UASB

Punto G: Salida de gas metano del Digestor

Gráfico N° 6.30: Producción de gas metano (ml/día) promedio en Pto F y Pto G vs Tiempo acumulado (semanas)

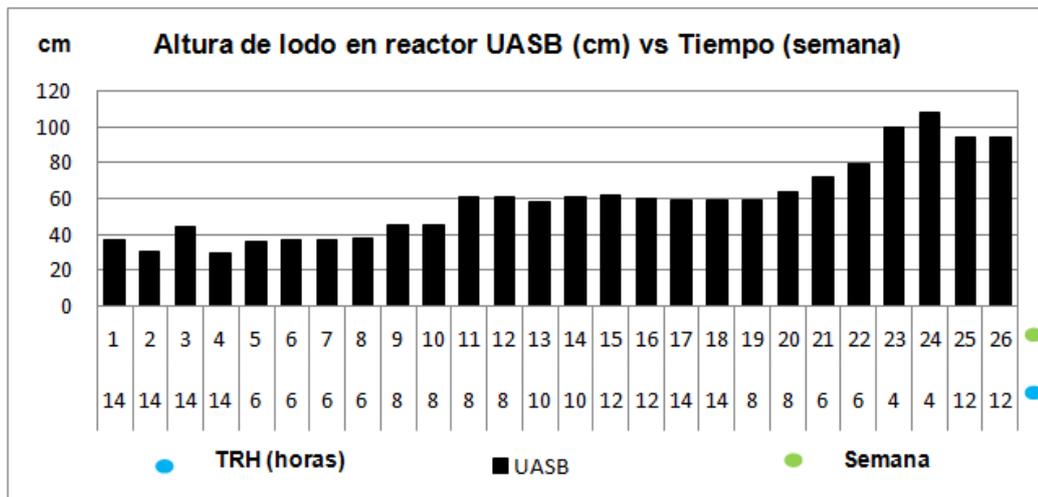


Gráfico N° 6.31: Altura de lodo UASB (cm) vs Tiempo acumulado (semanas)

El volumen crítico(máxima cantidad de lo en reactor UASB) de lodo en reactor UASB es 21.2 litros, según el diseño para la zona de digestión (Ver cuadro N° 5.2; Ver plano 5.1), el volumen de arranque de lodo es 6.2 litros(Ver cuadro N°5.8) el volumen de lodo en la investigación respecto a las semanas (Ver gráfico N° 6.32), para la

semana 24 se operó con TRH de 4 horas se tiene un máximo volumen de lodo en la zona de digestión de 19.1 litros, para la semana 4 se operó con TRH de 14 horas se tiene el mínimo volumen de lodo en la zona de digestión con 5.1 litros, este resultado es menor al inoculado al inicio, a consecuencia del acondicionamiento de operación de recirculación de lodo del UASB al digestor de lodos. La semana 9 se incremento lodo hasta un volumen de 8 litros hasta una altura 45cm (Ver cuadro 5.17), en total se adiciona 1.3 litros de lodo al reactor UASB, en adelante no se adiciona más lodo al reactor UASB, en un mes de operación con un TRH de 8 horas para el reactor UASB y se varía el TRH(6.2-9.3 días) en el digestor de lodos (Ver gráfico N° 6.35) el volumen de lodo final para la semana 13 es de 10.2 litros, a partir de esta semana se operó a un TRH de 10 días para el digestor de lodos, para la etapa 3 con TRH de 20 días, se analizó con más detalle en la sección 7.3.

El volumen de lodo en el reactor UASB durante toda la investigación (Ver gráfico N° 6.33) este incremento se ajusta a una ecuación lineal para un coeficiente de correlación de 84% probando que existe una ecuación que nos describe el comportamiento del volumen de lodo, el cual es afectado por la carga orgánica aplicada, velocidad ascensional y recirculación de lodo UASB-digestor, en la sección (7.1.12) se profundiza mas estas variables.

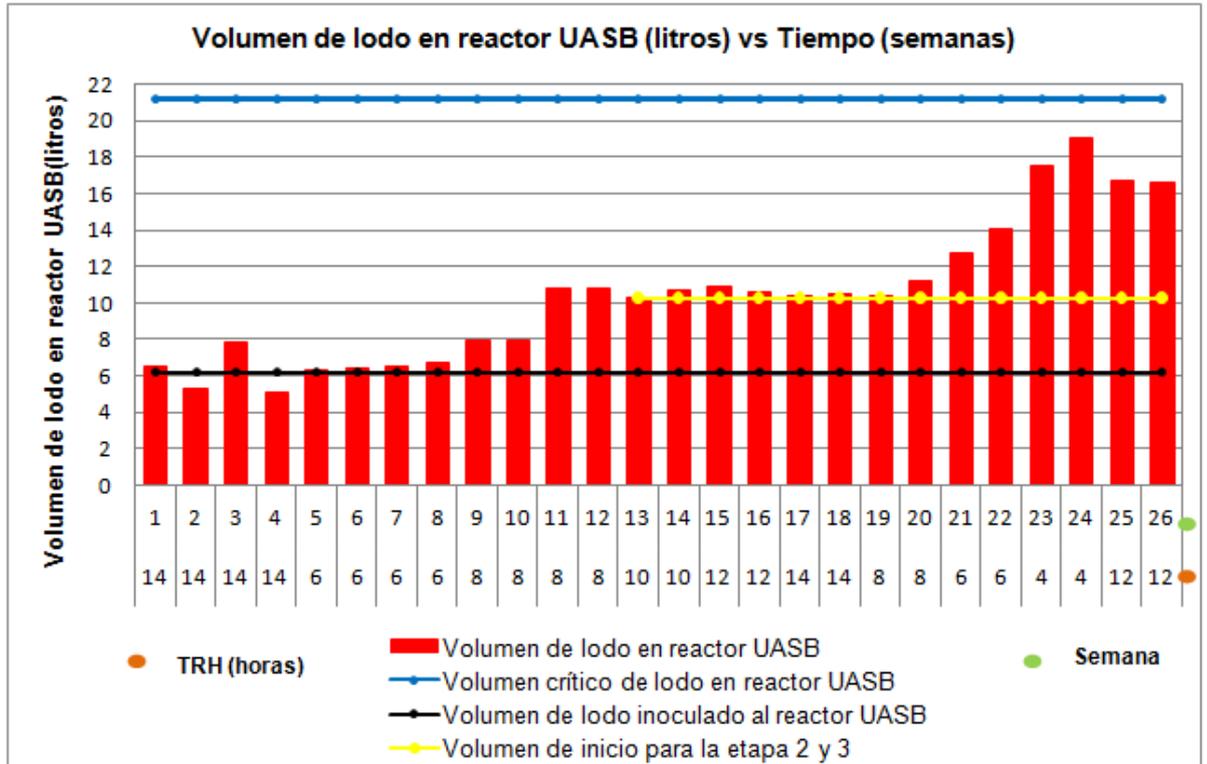


Gráfico N° 6.32: Volumen de lodo en reactor UASB(litros) vs Tiempo acumulado (semanas)-1

Respecto al digester de lodos (Ver gráfica N° 6.34) se observó que en la etapa 1 hay una inestabilidad debido a ajustes operacionales hasta la semana 8, y a partir de la semana 9 el reactor UASB-digester mantiene un operación adecuada de traslado de lodo, a partir de la etapa 2 se mantiene una altura constante (90cm), durante esta etapa se purgó 50ml de lodo en tres meses, cada mes se retiró en promedio de 16ml/mes.

Respecto al volumen de lodo en digester en las 26 semanas de investigación (Ver gráfica N° 6.35) el volumen se incremento para ajustar el TRH de operación del digester, de la gráfica, para la semana 8 se logro un funcionamiento adecuado para el digester de lodos, entonces para semana 9 el incremento el lodo a 26.7 litros, permite al digester operar a 6.2 días de TRH (Ver cuadro N° 6.27-6.28), para la semana 13 se incrementa volumen

de lodo a 28.3 litros para operar el digester a 10 días de TRH recomendado por estudios anteriores para temperaturas de operación 25-35°C, TRH[10-27días].

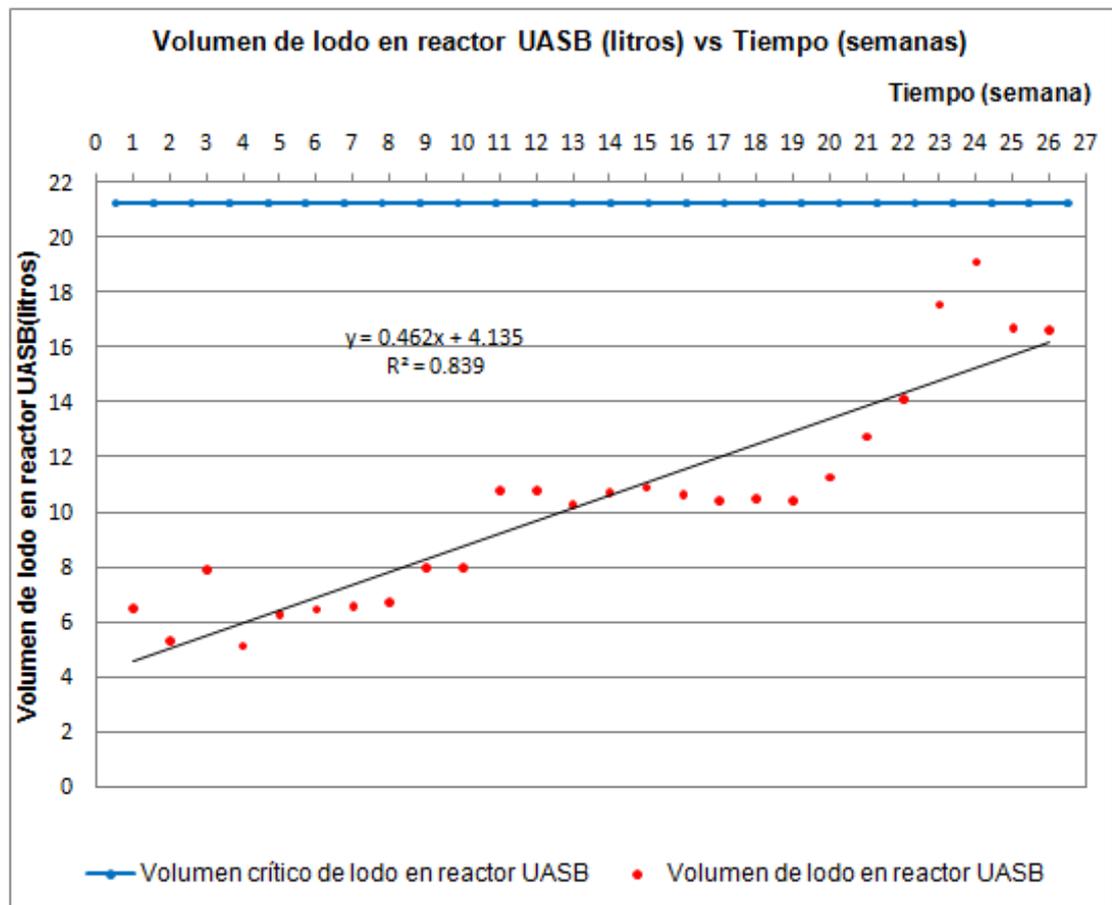


Gráfico N° 6.33: Volumen de lodo en reactor UASB(litros) vs Tiempo acumulado (semanas)-2

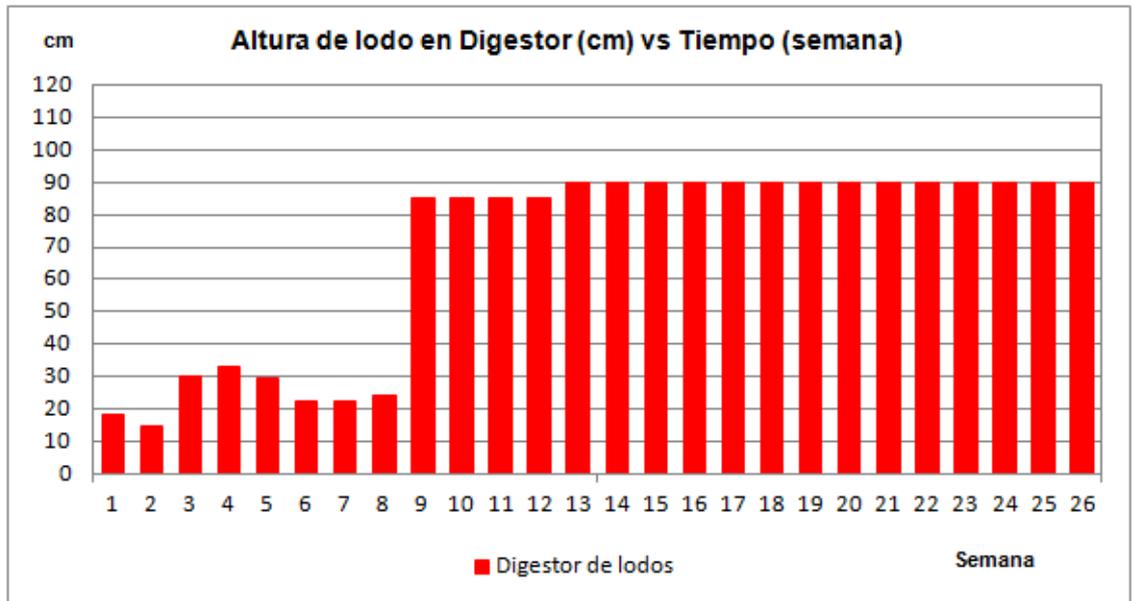


Gráfico N° 6.34: Altura de lodo digestor de lodos (cm) vs Tiempo acumulado(semanas)

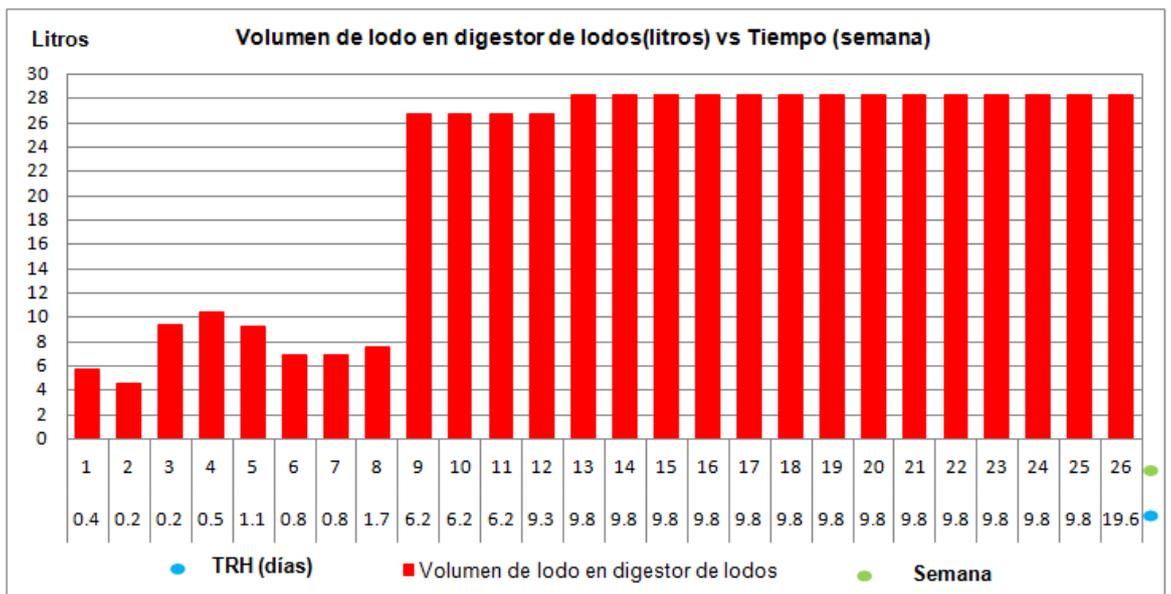


Gráfico N° 6.35: Volumen de lodo en digestor de lodos (litros) vs Tiempo acumulado (semanas)

O) CARGA ORGÁNICA

Es un parámetro analizada para la etapa 2 (Ver gráfico N° 6.36) para el Pto A un promedio de 55.31 g DQO/día con un máximo de 138.93 g DQO/día y mínimo de 23.21 g DQO/día, para el Pto B un promedio de 30.88 g DQO/día con un máximo de 92.62 g DQO/día y mínimo de 8.76 g DQO/día, estos resultados favorables indican que el reactor UASB-Digestor remueve carga orgánica ya que g DQO/día (Pto A) > g DQO/día(Pto B).

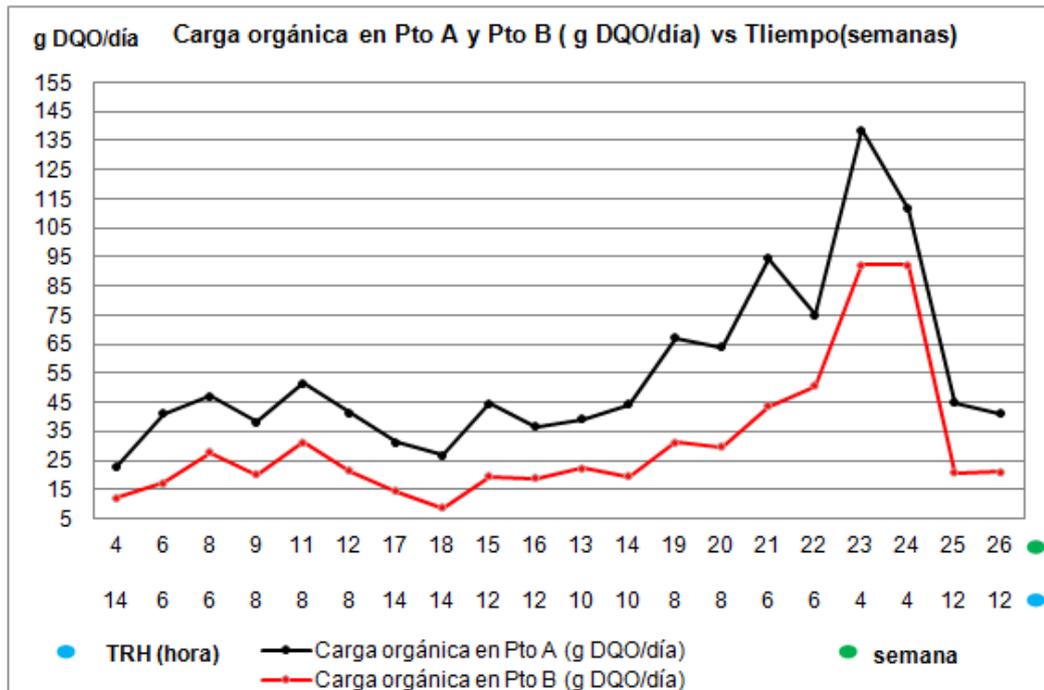


Gráfico N° 6.36: Carga orgánica en Pto A y Pto B(g DQO/día) vs Tiempo acumulado(semanas)

6.3 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS

Las eficiencias de los parámetros es calculado en base a los resultados promedio semanales, en los puntos A y B. La eficiencia está marcado en etapa 1 , etapa 2 y etapa 3 (Ver cuadro N° 6.30-6.31), para la etapa 1 se monitoreó parámetros rutinarios además de mediciones de DBO₅, DQO

total, DQO soluble, los tres meses de arranque fue fundamental para la etapa 2 ya que se ajustó el funcionamiento estable del digestor y sistema de calentamiento. Para la etapa 2, se evaluó para diferentes caudales y se incrementó el número de parámetros de medición, sólidos totales, sólidos volátiles totales, sólidos disueltos totales, sólidos sedimentables.

Cuadro N° 6.30: Eficiencia de remoción en UASB - etapa 1

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DEL REACTOR UASB								
Semana	Caudal (L/día)	TRH (horas)	Turbiedad (%)	SST (%)	DBO ₅ (%)	DQO total (%)	DQO soluble (%)	Carga orgánica (%)
1	49.0	14	69.7	62.3	-	-	-	-
2	49.0	14	70.3	72.0	-	-	-	-
3	49.0	14	9.4	6.0	-	-	-	-
4	49.0	14	45.3	36.2	17.8	47.3	10.9	47.26
5	115.2	6	66.7	74.4	-	-	-	-
6	115.2	6	69.3	68.7	62.3	58.1	22.4	58.10
7	115.2	6	76.4	73.3	-	-	-	-
8	115.2	6	74.5	67.5	56.6	41.3	-5.7	41.26
9	86.4	8	80.9	76.0	70.7	47.3	0.5	47.31
10	86.4	8	70.2	61.2	-	-	-	-
11	86.4	8	78.5	73.5	-	39.5	3.5	39.50
12	86.4	8	76.5	75.6	-	48.4	1.9	48.45
Promedio			65.6	62.2	51.8	46.2	4.0	46.98
Máximo			80.9	76.0	70.7	58.1	22.4	58.10
Mínimo			9.4	6.0	17.8	39.5	-5.7	39.50

Cuadro N° 6.31: Eficiencia de remoción en UASB - etapa 2 y etapa 3

Etapa	Semana	Caudal (L/día)	TRH (horas)	Turbiedad (%)	SST (%)	DBO (%)	DQO total (%)	DQO soluble (%)	SVT (%)	SDT (%)	ST (%)	Sólidos sedimentables (%)	Carga orgánica (%)	
ETAPA 2	13	69.1	10	81.1	76.3	23.2	43.1	9.9	60.0	12.0	20.0	100.0	43.08	
	14	69.1	10	78.2	74.2	49.6	55.5	13.2	60.0	-11.1	14.3	100.0	55.54	
	15	57.6	12	83.6	77.7	58.9	56.5	0.4	75.0	-6.7	21.7	100.0	56.48	
	16	57.6	12	74.45	73.7	54.9	48.1	7.4	50.0	20.0	25.0	100.0	48.13	
	17	49.0	14	79.1	70.8	57.8	54.0	3.1	75.0	-10.0	14.3	100.0	53.98	
	18	49.0	14	82.8	78.2	76.4	67.3	4.0	66.7	20.0	30.8	100.0	67.34	
	19	86.4	8	86.0	77.6	45.6	53.4	2.9	66.7	0.0	15.4	100.0	53.40	
	20	86.4	8	78.2	72.0	53.0	53.6	-1.6	75.0	10.0	28.6	100.0	53.64	
	21	115.2	6	77.2	67.4	46.7	53.9	23.9	50.0	10.0	25.0	100.0	53.89	
	22	115.2	6	62.7	50.1	45.4	32.5	10.6	50.0	16.7	21.4	100.0	32.52	
	23	172.8	4	65.7	53.8	28.0	33.5	5.2	50.0	0.0	7.1	50.0	33.46	
	24	172.8	4	64.3	53.0	32.9	17.2	1.3	0.0	9.1	7.7	33.3	17.16	
		Promedio			76.1	68.7	47.7	47.4	6.7	56.5	5.8	19.3	90.3	47.38
		Máximo			86.0	78.2	76.4	67.3	23.9	75.0	20.0	30.8	100.0	67.34
	Mínimo			62.7	50.1	23.2	17.2	-1.6	0.0	-11.1	7.1	33.3	17.16	
ETAPA 3	25	57.6	12	67.6	64.2	-	53.3	-	-	-	-	100.0	53.33	
	26	57.6	12	75.7	70.7	-	48.3	-	-	-	-	100.0	48.32	
		Promedio			71.6	67.4	-	50.8	-	-	-	-	100.0	50.83

CAPÍTULO 7

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación se detallan el análisis y discusión de los resultados obtenidos en la etapa 1, etapa 2 y etapa 3 del reactor UASB-Digestor, se resalta las condiciones de arranque, como discusión central los resultados, la determinación de TRH del reactor UASB y el TRH para el digestor de lodos.

7.1 PARÁMETROS EVALUADOS

7.1.1 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN PUNTOS MONITOREADOS

Respecto a la etapa 1 la relación de temperaturas en la investigación ambiental Pto A, C, D, E (Ver gráfico N° 7.1)

➤ **Influencia de temperatura ambiental a ingreso de agua residual(Pto A)**

La temperatura ambiental está en promedio 1.0°C por encima de temperatura Pto A (ingreso de agua residual) siendo un máximo de 1.9°C y un mínimo -0.2°C para la semana 4 donde fue la única vez donde la temperatura de Pto A supero a la ambiental, la relación $T^{\circ}\text{ ambiental}/T^{\circ}\text{ PtoA}$ es un valor 1.1 entonces la temperatura ambiental es similar a la temperatura de agua de residual. Por lo tanto temperatura promedio pto A es 14.5°C , una temperatura inferior a la recomendada para diseño para reactor UASB.

➤ **Influencia de T° agua de transferencia de calor(Pto E) a T° lodo en digestor(Pto C)**

La temperatura Pto E, es superior a la temperatura Pto C en 6.6°C en promedio, logrando mantener la temperatura de lodo en digestor un máximo de 37.4°C y un mínimo de 23.8°C ,

aquí el objetivo es tener un rango en de digestor de 25°C-35°C el cual no se cumplió. Pero los errores cometidos en el arranque fueron claves para mejorar la temperatura de lodo en digestor en la etapa 2.

El punto E resulto en un rango de 26.8°C-39.5°C, entonces la temperatura debe estar en el rango de 30°C-40°C para asegurar que la temperatura en digestor este en el rango de 25°C-35°C, ya que notamos que en promedio por trasferencia de calor se pierde 6.6°C.

➤ **Enfriamiento en el traslado de lodo de digestor a UASB.**

La diferencia de temperatura al Pto C al Pto D en promedio es 5.2°C, entonces en el traslado de lodo se pierde 5°C, desde el digestor al UASB.

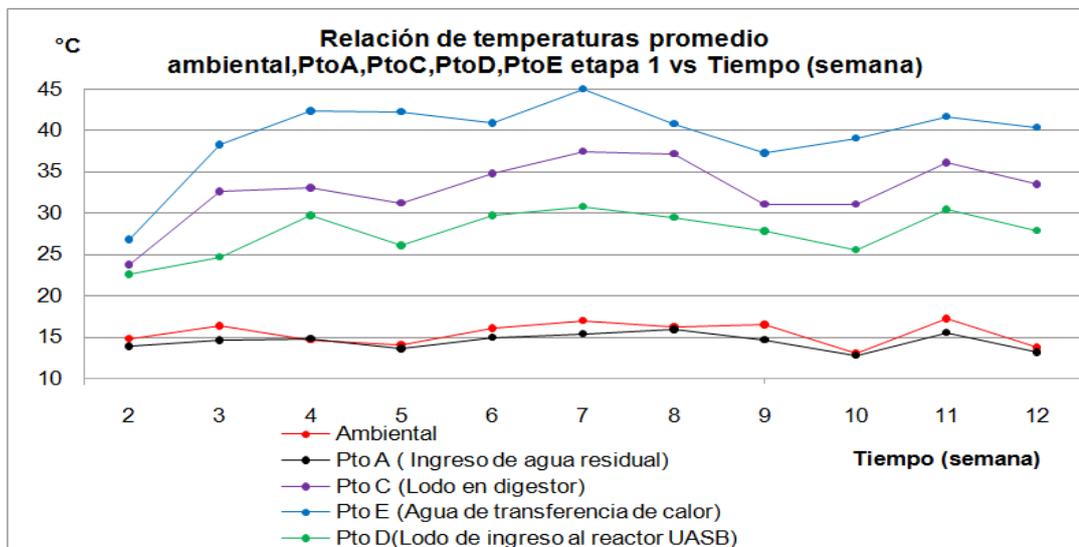


Gráfico N° 7.1: Relación de temperaturas promedio ambiental, PtoA, PtoC, PtoD, PtoE-etapa 1 vs Tiempo acumulado (semanas)

Respecto a la etapa 1 y etapa 2, la relación de temperaturas en la investigación ambiental Pto A, C, D, E (Ver gráfico N° 7.2)

➤ **Influencia de temperatura ambiental a ingreso de agua residual(Pto A)**

La temperatura ambiental está en promedio 1.7°C por encima de temperatura Pto A (ingreso de agua residual)

siendo un máximo de 3.0°C y un mínimo 1.2°C, la temperatura promedio pto A es 13.8°C en época de heladas y 15.1°C en la época de lluvias.

➤ **Influencia de T° agua de transferencia de calor(Pto E) a T° lodo en digestor(Pto C)**

La temperatura Pto E, es superior a la temperatura Pto C en 5.1°C en promedio, logrando mantener la temperatura de lodo en digestor un máximo de 34.7°C y un mínimo de 25.9°C, aquí nuestro objetivo se cumple (rango en de digestor de 25°C-35°C), con un promedio de temperatura en el digestor de 29.8°C \approx 30°C .

El punto E resulto en un rango de 29.3°C-42.2°C, apreciamos que nuestra rango de temperatura es correcto ya que logro mantener al digestor en el rango elegido.

➤ **Enfriamiento en el traslado de lodo de digestor a UASB.**

La diferencia de temperatura al Pto C al Pto D en promedio es 6.3°C, hay más pérdida de calor por las temperaturas bajas, entonces en el traslado de lodo se pierde 6°C, desde el digestor al UASB.

7.1.2 PH

El valor de pH medidos en los puntos A y B respecto a la característica de trabajo hidrolítico, acidogénico y metnogénico(Ver gráfico N°7.3). El pH de los microorganismos en la digestión anaerobia para las hidrolíticas deben estar entre 7.2-7.4 y para las acidogénicas y metanogénicas en el rango de 6.5-7.5 pero el medio líquido que ingresa al reactor UASB(Pto A) tiene pH 7.6 a 8.1 un medio líquido no favorable para el desarrollo hidrolítico acidogénico y metanogénico, el efluente del reactor UASB(Pto B) tiene pH 7.7-8.2 similar al ingreso en el Pto A , la subida de pH en la salida es por la baja temperatura a la que operó el reactor UASB en promedio 14.2°C, la baja temperatura no favorece un

medio líquido con pH para el desarrollo de la hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis.

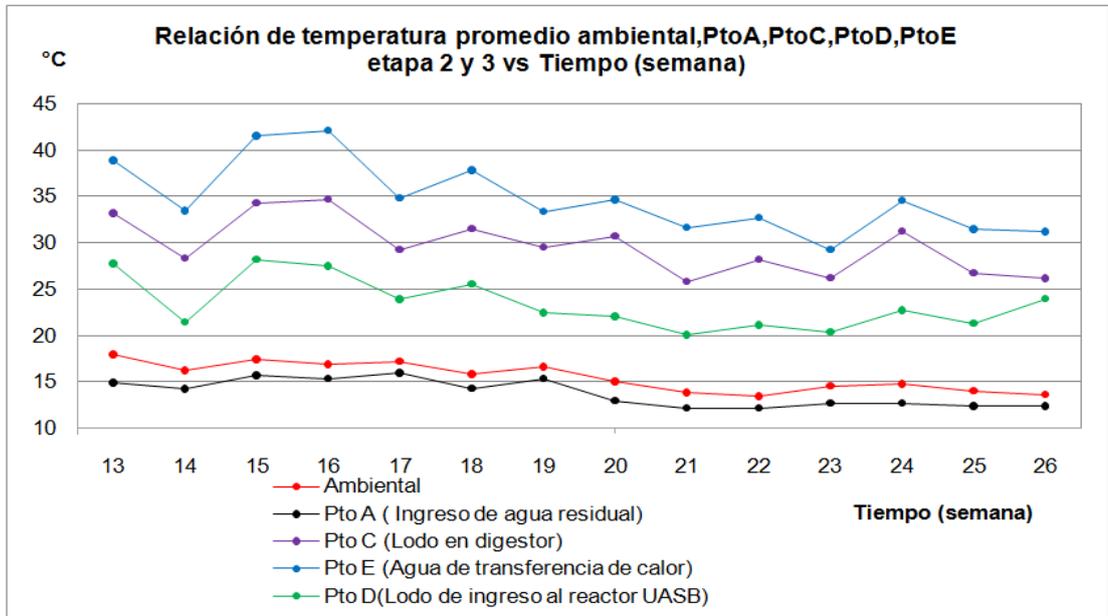


Gráfico N° 7.2: Relación de temperaturas promedio ambiental, PtoA, PtoC, PtoD, PtoE-etapa 2 y 3 vs Tiempo acumulado (semanas)

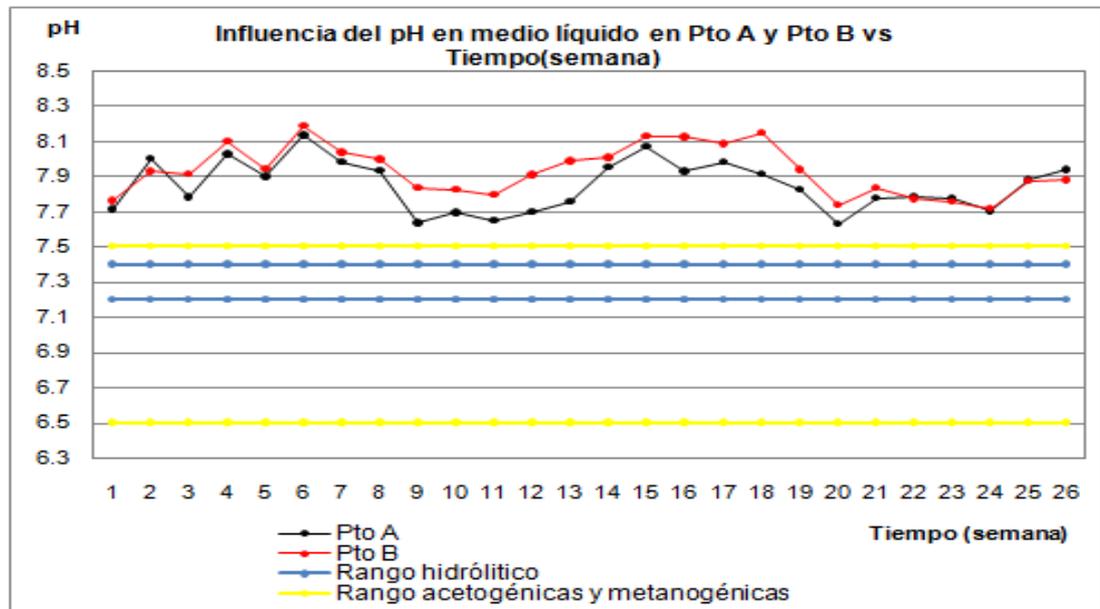


Gráfico N° 7.3: Influencia del pH en medio líquido Pto A y B vs Tiempo acumulado (semanas)

7.1.3 TURBIEDAD

La eficiencia de remoción para la etapa 1 (Ver gráfico N° 7.4) Las bajas eficiencias de la semana 3 hasta la semana 4, son causados por las modificaciones hechas en la operación del digestor, la mínima remoción de turbiedad es de 9.4% para un TRH de 14 horas, recirculación de lodo 125ml/min y máximo de 81% para un TRH de 8 horas, recirculación de lodo 24ml/min. La influencia de la modificación de operación del digestor afecta de manera directa en la turbiedad.

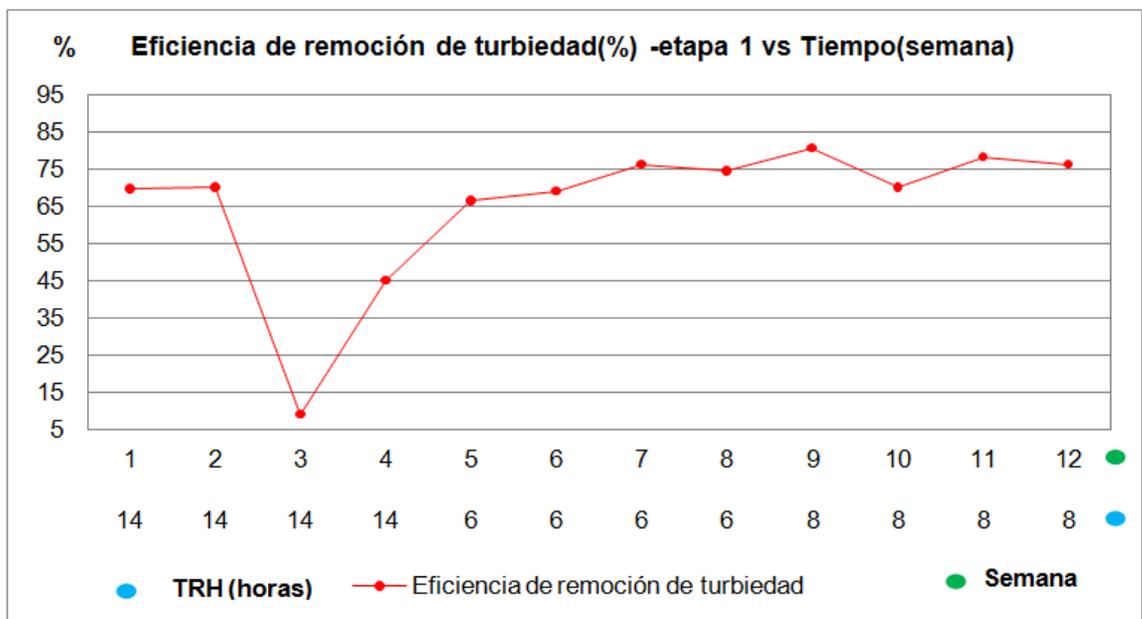
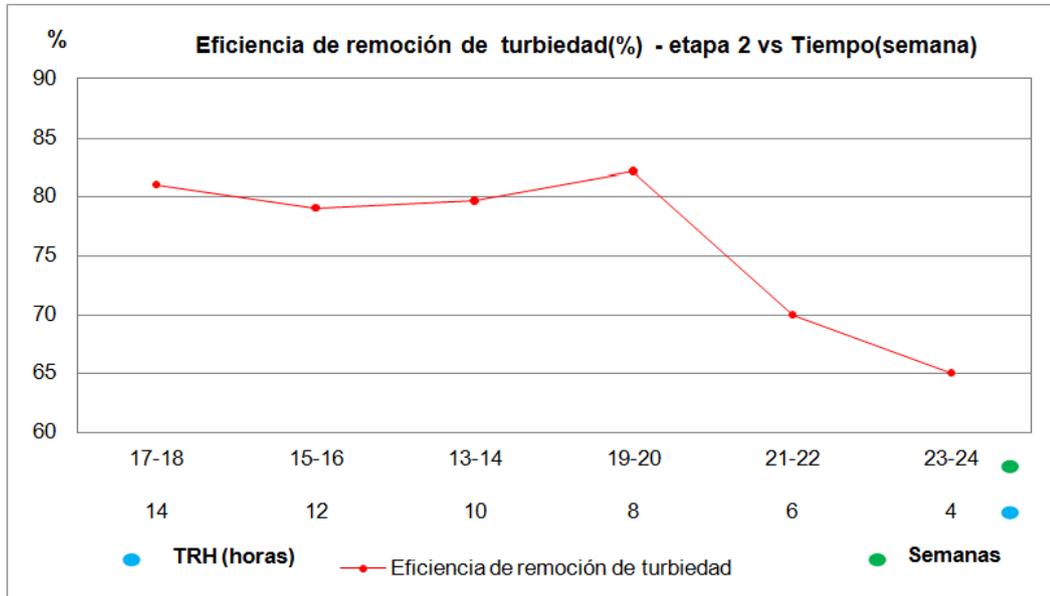


Gráfico N° 7.4: Eficiencia de remoción de turbiedad etapa 1 (%) vs Tiempo acumulado (semana)

Respecto a la etapa 2, los resultados en orden creciente a los caudales aplicados, al promediar la eficiencia de remoción de turbiedad cada dos semanas que se aplicó el mismo caudal (Ver gráfico N° 7.5), donde la tendencia descendente en la remoción de turbiedad, a mayor caudal menor eficiencia de remoción de turbiedad y a menor caudal mayor eficiencia de turbiedad, es una tendencia aproximada, hay una máxima remoción promedio de 81% para un TRH de 8 horas, una mínima remoción promedio de 65%

para un TRH de 4 horas. En toda la etapa 2 se mantuvo el caudal de recirculación constante de 34.6L/día.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas, aplicadas con un mismo TRH

Gráfico N° 7.5: Eficiencia de remoción de turbiedad (%) -etapa 2 vs Tiempo acumulado (semanas)

7.1.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

La eficiencia de remoción para la etapa 1 (Ver gráfico N° 7.6) Se observó bajas eficiencias de la semana 3 hasta la semana 4, son causados por las modificaciones hechas en la operación del digestor, la mínima remoción de sólidos suspendidos es de 6% para un TRH de 14 horas, recirculación de lodo 180 L/día y máximo de 76% para un TRH de 8 horas y una recirculación de lodo 34.6 L/día. Se apreció la influencia de la modificación de operación del digestor afecta de manera directa en los SST.

Respecto a la etapa 2, los resultados en orden creciente a los caudales aplicados, al promediar la eficiencia de remoción de turbiedad cada dos semanas que se aplicó el mismo caudal (Ver gráfico N° 7.7), donde hay un tendencia descendente en la remoción de SST, a mayor caudal menor eficiencia de remoción

de SST y a menor caudal mayor eficiencia de remoción de SST, es una tendencia aproximada, hay una máxima remoción promedio de 75.7% para un TRH de 12horas, una mínima remoción promedio de 53.4% para un TRH de 4horas. En toda la etapa 2 se mantuvo el caudal de recirculación de lodo de 34 L/día por periodos(Ver cuadro N° 6.28)

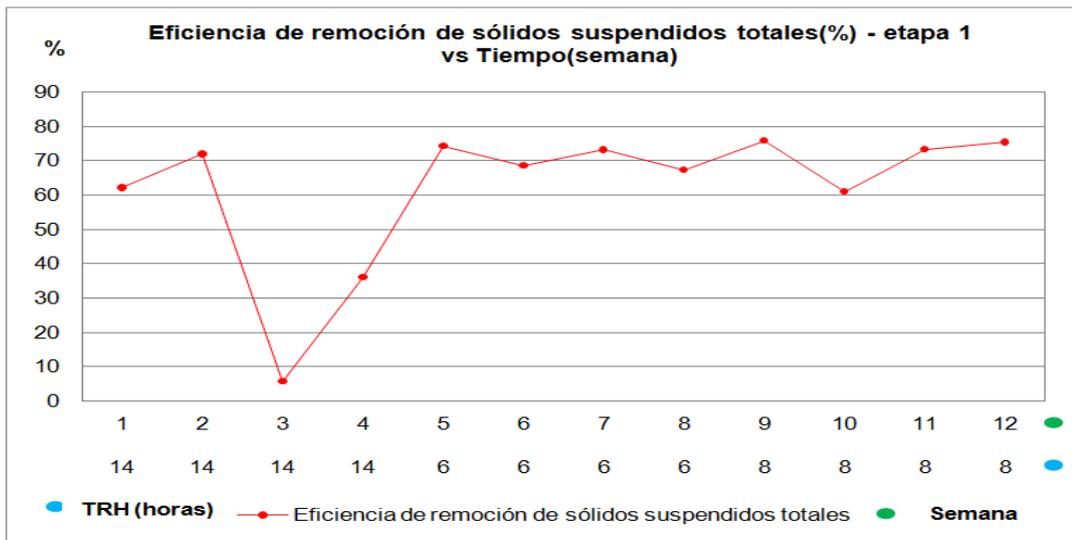
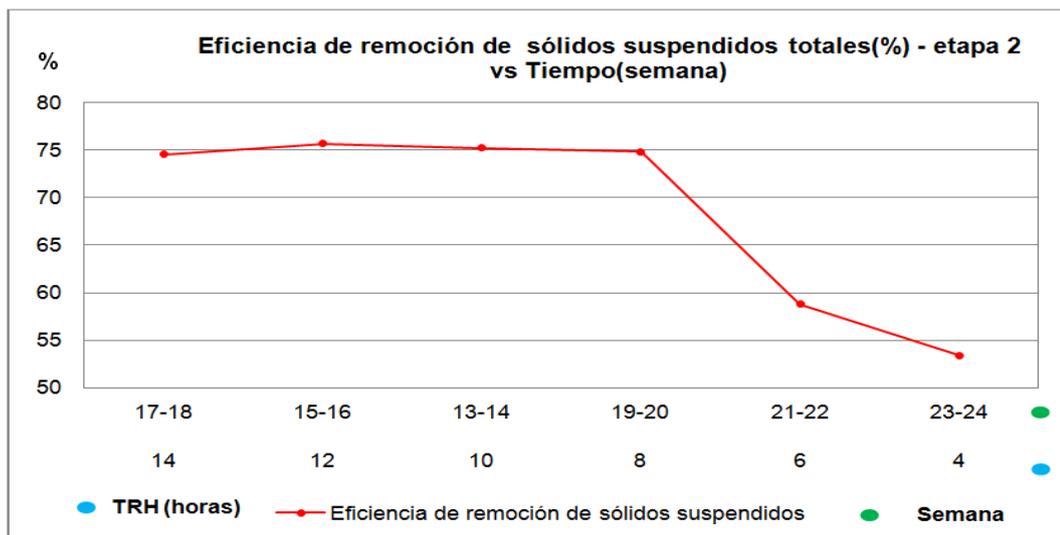


Gráfico N° 7.6: Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales(%) - etapa 1 vs Tiempo (Semana)



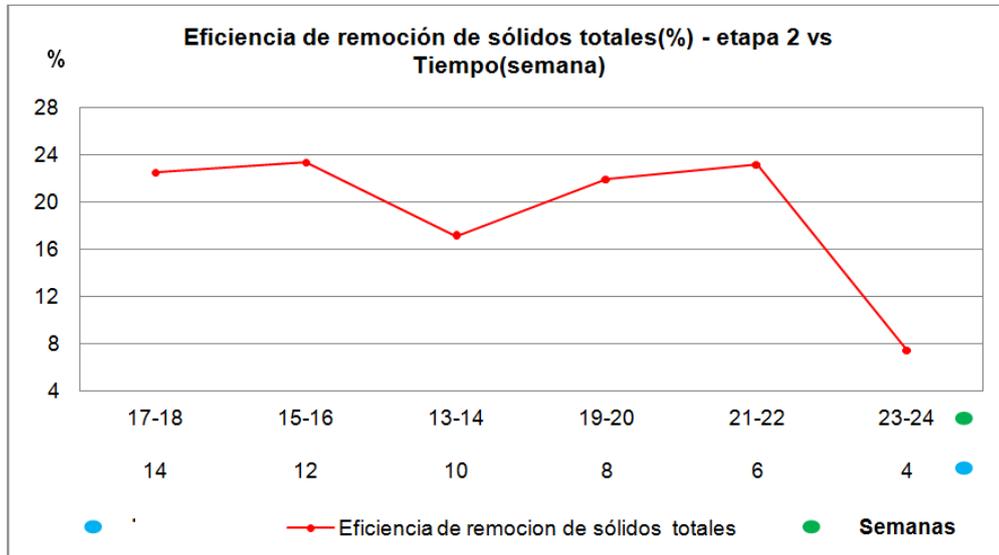
Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.7: Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (%) etapa 2 vs Tiempo acumulado (semanas)

7.1.5 SÓLIDOS TOTALES

Monitoreado solo en la etapa 2 (Ver gráfico N°7.8), para una mejor interpretación al promediar los datos la eficiencia cada dos semanas que se trabajó con un mismo caudal, nos permite afirmar, la remoción de sólidos totales es mayor cuando se aplica menores caudales, pero cuando se aplica mayor caudal la remoción disminuye. La mejor eficiencia obtenida es para un TRH de 12 horas con una remoción promedio de 23.4% y la mínima para un TRH de 4 horas con una remoción promedio de 7.4%.



Donde:

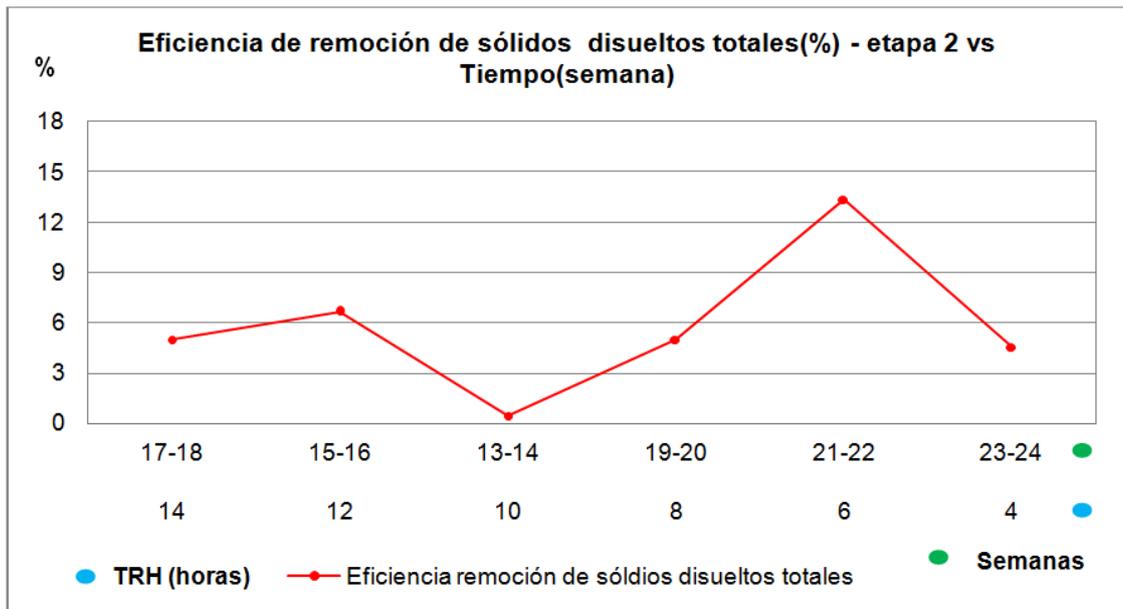
Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.8: Eficiencia de remoción de sólidos totales (%) etapa 2 vs Tiempo acumulado (semana)

7.1.6 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Monitoreado solo en la etapa 2, la remoción de este parámetro es escaso, incluso resultó remociones negativas para los TRH 14-12-10 horas según cuadro N° 6.30, para tener una mejor lectura, para cada dos semanas que se operó con el mismo caudal promediamos su remoción (Ver gráfico N° 7.9) de esta gráfica no

hay una tendencia relacionada con el caudal de operación, solo para el tramo de TRH 10-8-6 horas existe una relación cuando se aumenta TRH hidráulico la eficiencia de remoción aumenta. La mínima remoción promedio es de 0.44% para un TRH de 10 horas y la máxima remoción promedio es de 13.3% para un TRH de 6 horas.



Donde:

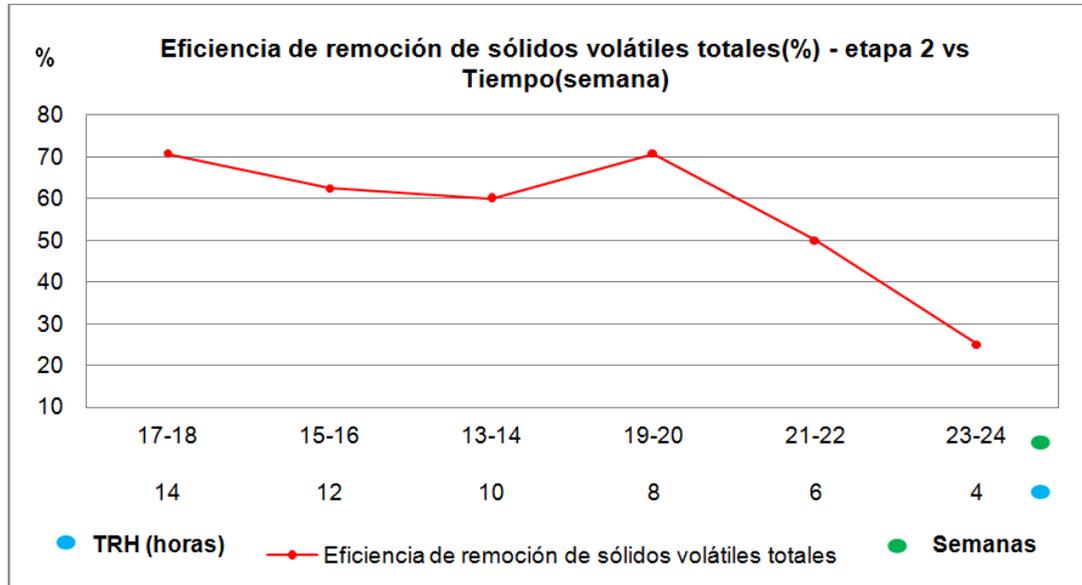
Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.9: Eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales (%) etapa 2 vs Tiempo acumulado (Semana)

7.1.7 SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

Se monitoreo en la etapa 2, es de conocimiento que este parámetro está relacionado con la materia orgánica presente, el objetivo de la investigación busca la remoción de carga orgánica, los resultados respaldan esta tecnología UASB-digestor ya que obtenemos resultados óptimos(Ver gráfica N°7.10) , también al promediar el porcentaje de remoción cada dos semanas operadas con un mismo caudal, la máxima remoción promedio obtenida es 70.8% para un TRH de 14 horas, la mínima eficiencia promedio es de 25% para un TRH de 4 horas, podemos afirmar

que a mayor caudal de aplicación menor % de remoción de SVT, a menor caudal de aplicación mayor % de remoción de SVT.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.10: Eficiencia de remoción de sólidos volátiles totales (%) - etapa 2 vs Tiempo acumulado (semanas)

7.1.8 SÓLIDOS SEDIMENTABLES

Se monitoreo en la etapa 2 (Ver gráfico N° 7.11), los resultados son contundentes que cuando se aumenta el TRH los sólidos sedimentables aumentan de manera abrupta, para la semana que se cambió el TRH a 4 horas, los sólidos sedimentables en el Pto B son partículas flocúlenlas de lodo. En los demás puntos los sólidos sedimentables es cero por tanto remoción de 100%.

7.1.9 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

En la etapa 1, se midió la DBO_5 como parámetro principal de remoción de carga orgánica (Ver gráfico N° 7.12), la remoción fue progresiva, después de un mes de operación un 17.8% y hasta un 70.7% alcanzado en el tercer mes, logrando su arranque estable, apto para los monitoreos de etapa 2.

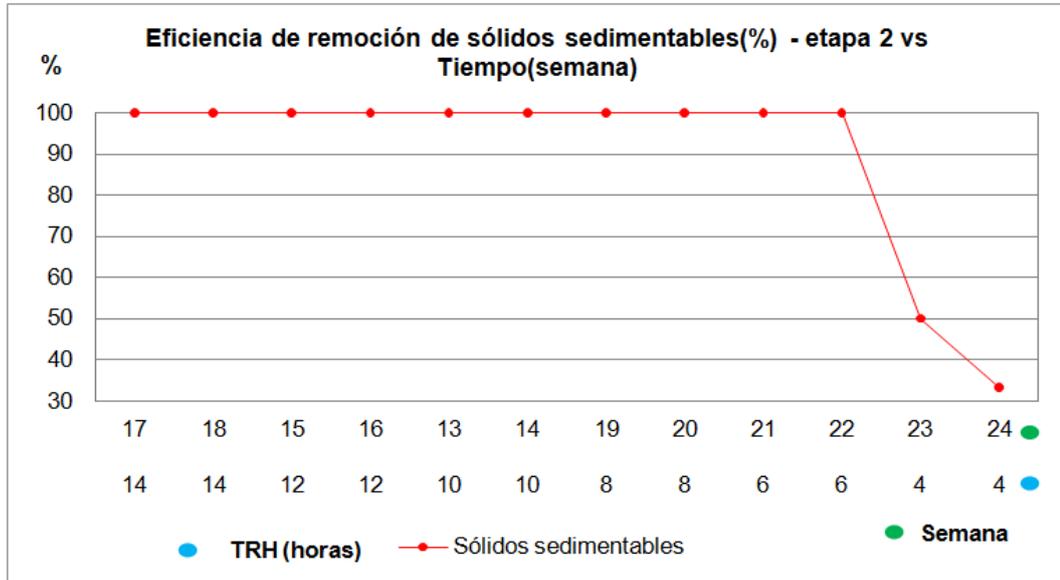


Gráfico N° 7.11: Eficiencia de remoción de sólidos sedimentable (%) - etapa 2 vs Tiempo acumulado (semanas)

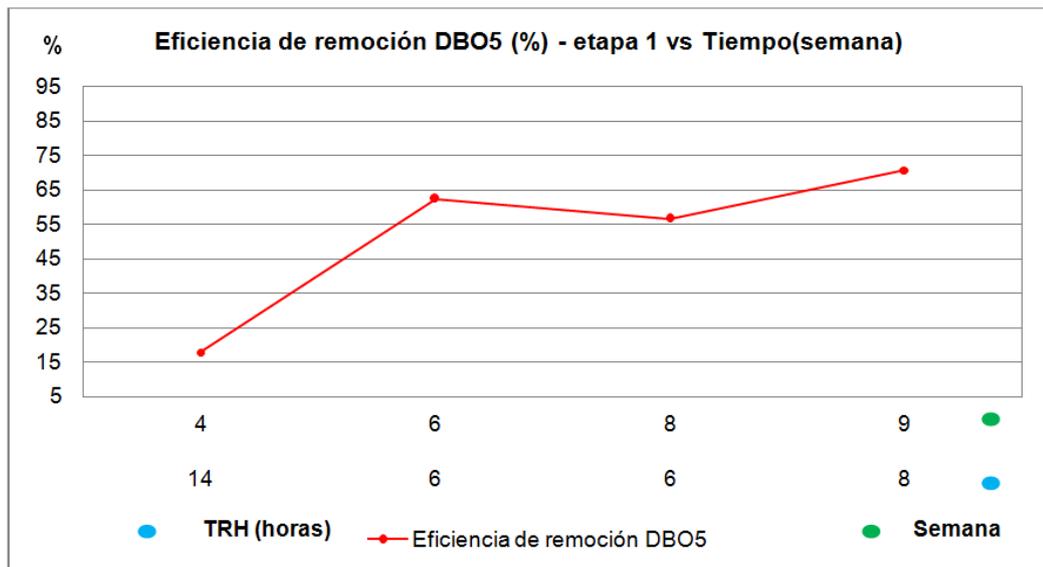
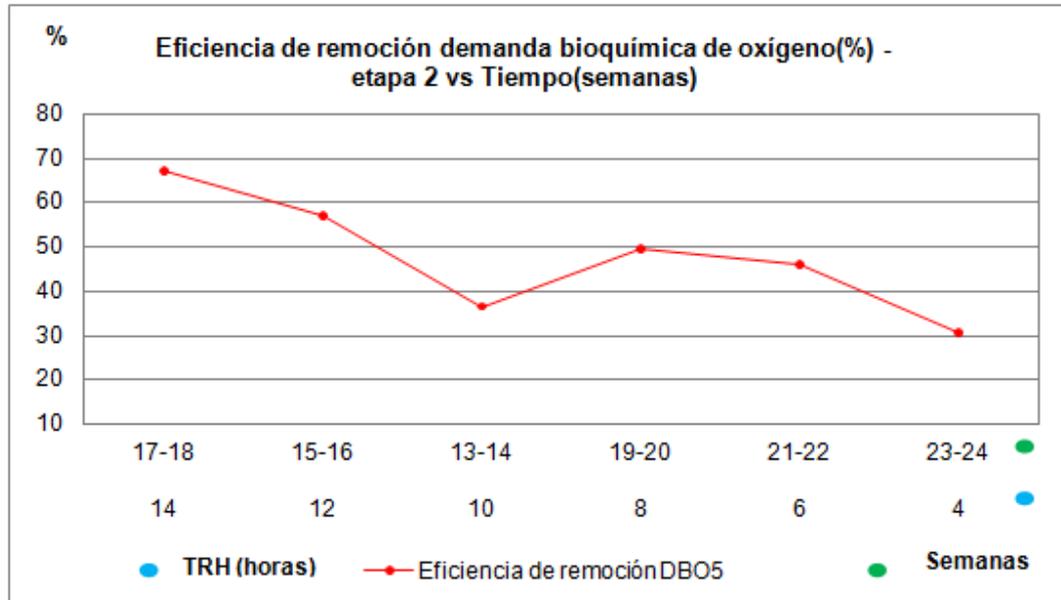


Gráfico N° 7.12: Eficiencia de remoción de DBO₅ (%) etapa 1 vs Tiempo acumulado (semanas)

Luego de tener un manto de lodo aclimatado se procede a evaluar los resultados de eficiencia de remoción DBO₅ (Ver gráfico N° 7.13), para los resultados al promediarla eficiencia de remoción cada dos semanas aplicados el mismo caudal. A mayor tiempo de retención hidráulica hay mejores eficiencia de remoción de DBO₅,

por tanto la máxima eficiencia alcanzada es para TRH de 14 horas con 67.1% de remoción promedio y la mínima para un TRH de 4 horas con 30.4% de remoción promedio.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

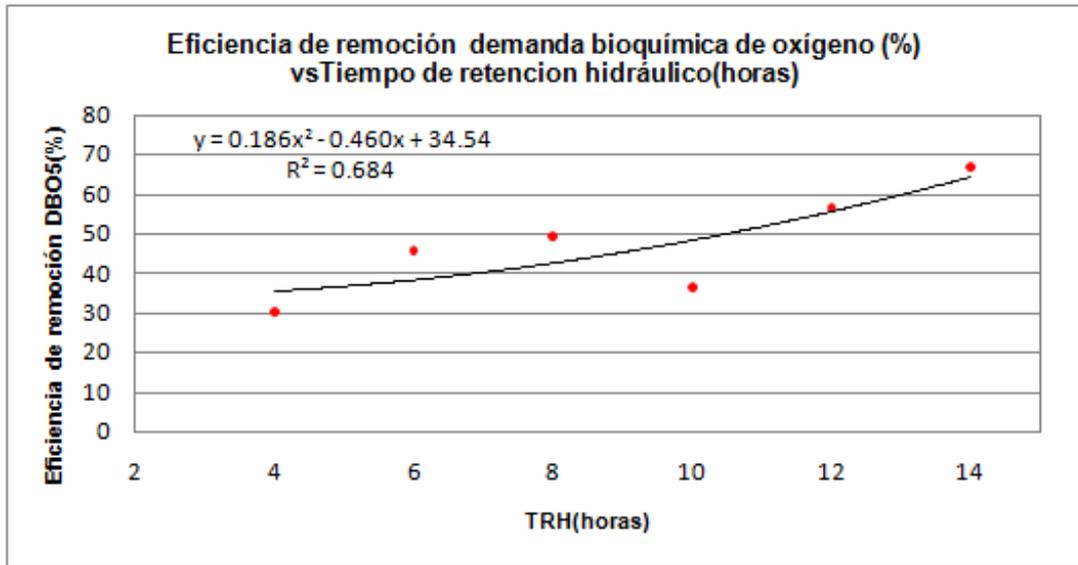
Gráfico N° 7.13: Eficiencia de remoción de DBO₅ (%) Etapa 2 vs Tiempo acumulado (semanas)

Los valores promedios cada dos semanas aplicados un mismo TRH, se ajustan mejor a una ecuación cuadrática, esta ecuación identifica en función del TRH la eficiencia de remoción de DBO₅. (Ver gráfico N° 7.14), la ecuación cuadrática nos muestra un confianza real del comportamiento en un 68%.

Ecuación (1)

$$\% \text{Eficiencia de remoción DBO}_5 (\text{PtoB}) = 0.1868 * TRH^2 - 0.4605 * TRH + 34.54$$

De esta ecuación entre el rango de TRH [4-14] escogemos el TRH que supere un eficiencia del 50%.



Donde:

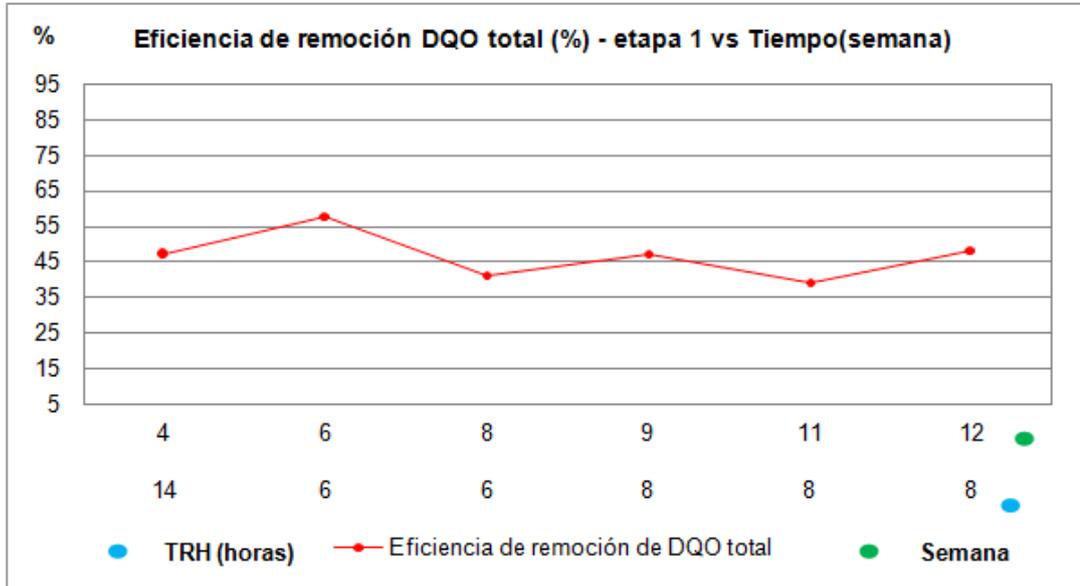
Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.14: Eficiencia de remoción DBO₅ (%) vs Tiempo de retención hidráulica (horas)

7.1.10 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL

Para la etapa 1 se tiene los resultados parciales de seguimiento de aclimatación del reactor UASB (Ver gráfico N° 7.15), la menor eficiencia es para un TRH de 8 horas con 39.5% y la mejor eficiencia para un TRH de 6 horas con 58.1% , bueno estos resultados son alterados por la operación del digester.

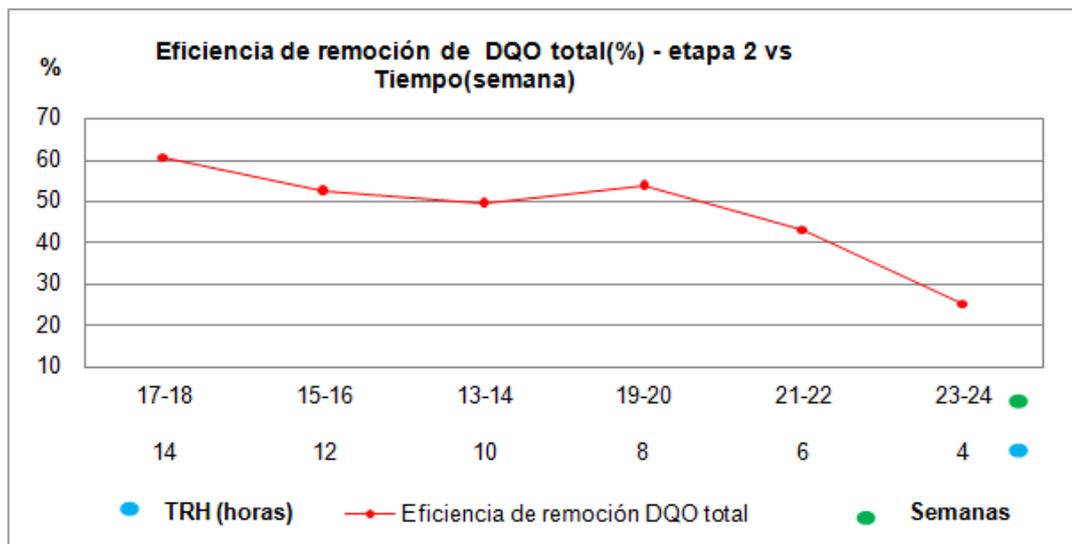
Para la etapa 2 los resultados promediados cada dos semanas aplicados un mismo TRH (Ver gráfico N° 7.16), los resultados indican que con cuatro TRH de operación (14-12-10-8 horas) la remoción de DQO total sobre pasa el 49%, siendo el mejor resultado para un TRH de 14 horas con 60.7% de remoción promedio de DQO total, la más baja remoción resultado para un TRH de 4 horas con 25.3% de remoción promedio de DQO total.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.15: Eficiencia de remoción de DQO total (%) etapa 1 vs Tiempo acumulado (semanas)



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

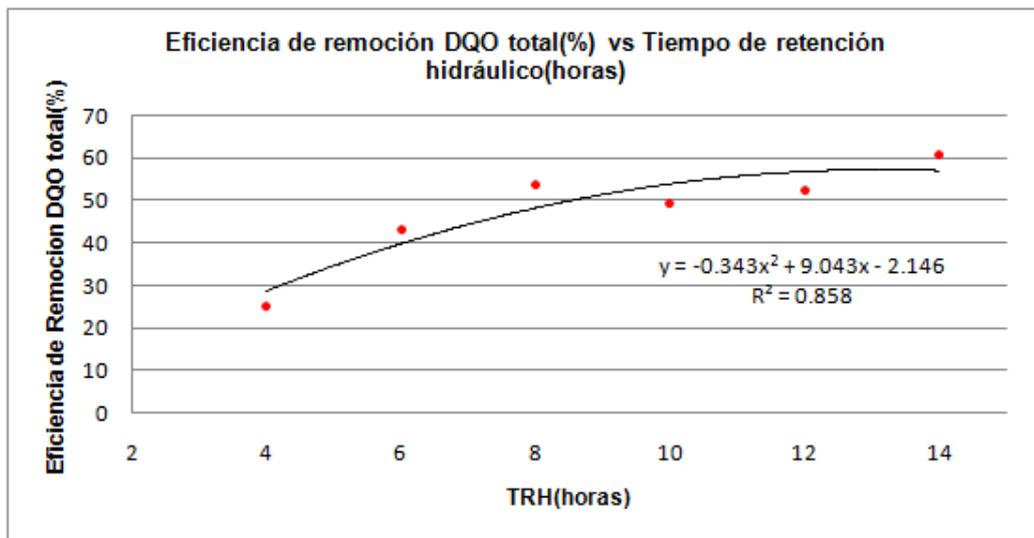
Gráfico N° 7.16: Eficiencia de remoción de DQO total (%) etapa 2 vs Tiempo acumulado (semanas)

Los valores promedios cada dos semanas aplicados un mismo TRH, se ajustan mejor a una ecuación cuadrática, esta ecuación identifica en función del TRH la eficiencia de remoción de DQO

total. (Ver gráfico N° 7.17), la ecuación cuadrática nos muestra un confianza real del comportamiento en un 86%.

Ecuación (2)

$$\% \text{Eficiencia de remoción DQO total (PtoB)} = -0.3438 * TRH^2 + 9.0433 * TRH - 2.146$$



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

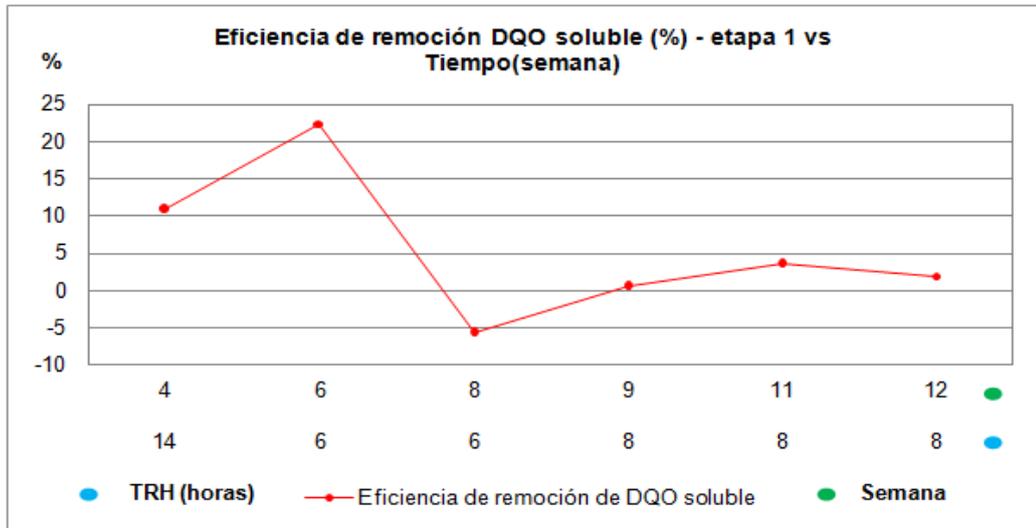
Gráfico N° 7.17: Eficiencia de remoción DQO total (%) vs Tiempo de retención hidráulico (horas)

7.1.11 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE

Para la etapa 1 se midió también la DQO soluble (ver gráfico N° 7.18) en la gráfica se aprecia la remoción es inestable y en un porcentaje bajo, la mejor remoción se obtuvo para un TRH de 6 horas con 22.4%, también resulto con remoción negativa para el mismo TRH de 6 horas con -5.7%. Los errores son producto de la etapa de ajuste y errores de laboratorio, las cuales se corrigen para la etapa 2.

Para la etapa 2, por cada dos semanas que se operó con un mismo caudal promediamos la eficiencias de remoción (Ver gráfico N° 7.19), los resultados obtenidos no hay un relación clara del TRH aplicado con la eficiencia, la mayor remoción promedio de DQO soluble se obtuvo para un TRH de 6 horas

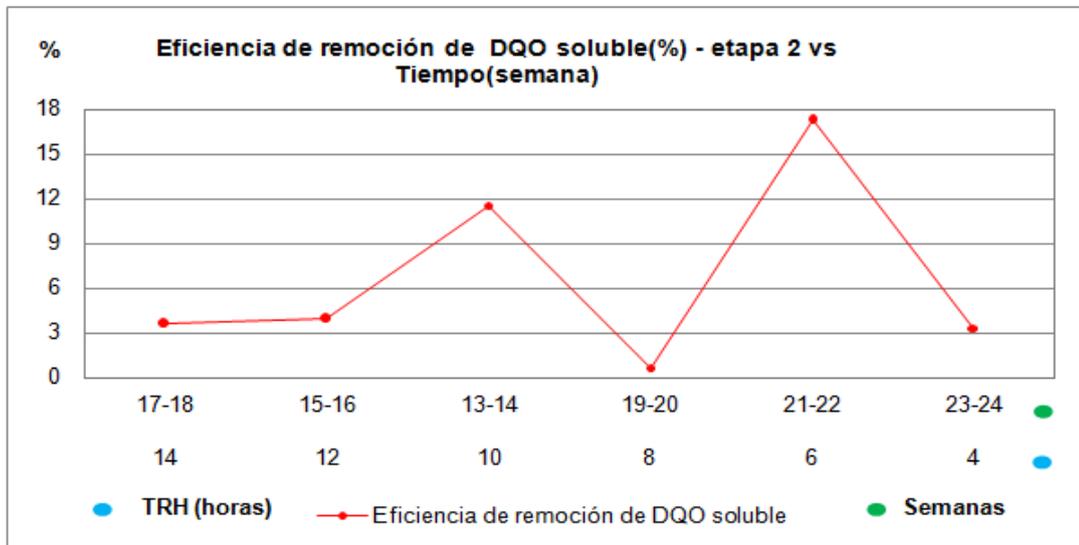
con 17.2% de remoción promedio y la mínima para un TRH de 8 horas con 0.7% de remoción promedio. En general este parámetro tiene una remoción baja. Entonces la mayor parte de la DQO removida es la coloidal y suspendida por el reactor UASB-digestor.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.18: Eficiencia de remoción de DQO total (%) - etapa 1 vs Tiempo acumulado (semanas)



Donde:

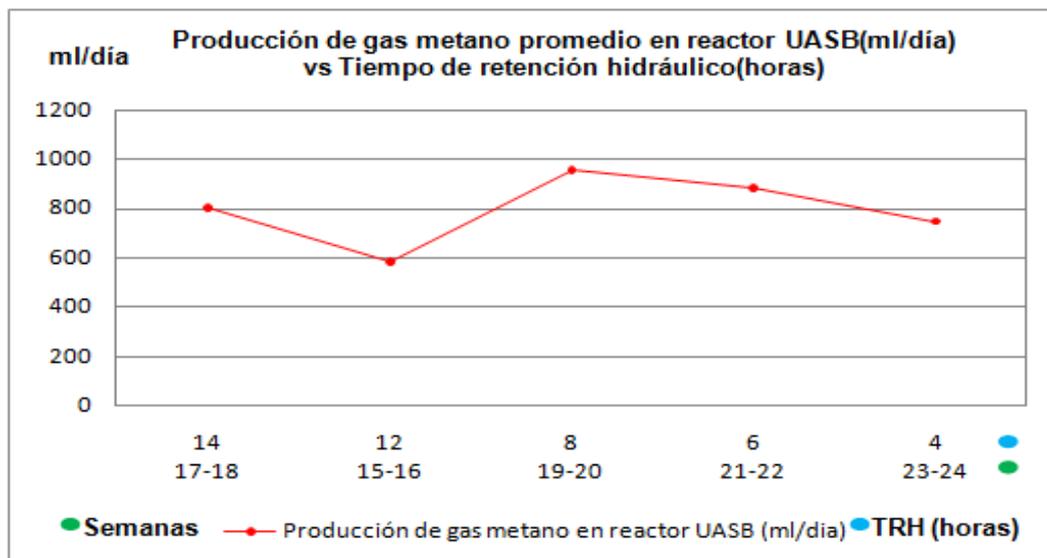
Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.19: Eficiencia de remoción de DQO soluble (%) etapa 2 vs Tiempo acumulado (semanas)

7.1.11 PRODUCCIÓN DE GAS METANO EN UASB Y DIGESTOR

La producción de gas metano tanto del UASB y digestor se monitorea a partir de la semana 15, por lo tanto no se tiene registros de producción de gas metano para caudal 69.1L/día (TRH=10horas), la producción de gas metano está relacionado con: altura de lodo, DQO total de ingreso (Pto A), TRH y temperatura.

La producción de gas metano respecto al TRH, al promediar la producción semanal de gas metano por cada dos semanas aplicados con el mismo caudal(Ver gráfico N° 7.20), a mayor TRH debe existir un mayor transformación de DQO total a metano, de la gráfica el TRH si influye en la mayor producción de gas metano, se evidencia con más claridad para el tramo TRH=4-6-8 horas, después de este crecimiento hay un descenso de producción de metano siendo un contradicción, ya que a mas TRH debió producirse más gas metano, entonces debe existir otros factores que influyeron en la disminución de gas metano para especialmente para el tramo TRH de 12-14horas.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

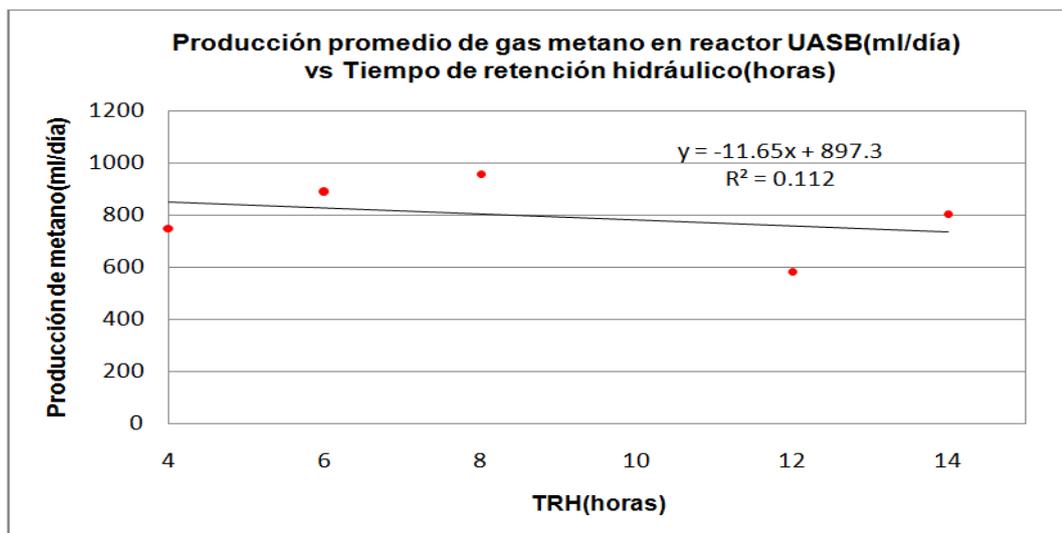
Gráfico N° 7.20: Producción de gas metano promedio en reactor UASB(ml/día) vs Tiempo de retención hidráulica (horas)

Ajustamos los datos (Ver gráfico N° 7.21), de esta gráfica para TRH de 12 y 14 horas, la producción de gas metano disminuye, a consecuencia de esta baja de producción la curva de ajuste nos sale solo con un 11% de certeza que a mayor TRH mayor producción de gas metano.

Al ajustar la curva solo para los TRH=4-6-8horas, ya que en ese tramo si se evidencia una producción de gas metano en función del TRH.(Ver gráfico N° 7.22), en esta gráfica si podemos apreciar claramente que el TRH influye de manera directa a la producción de gas metano, ya que la curva se ajusta a un 97% , de acuerdo al avance de la investigación en las primeras semanas de monitoreo de gas metano, se tuvo problemas en la bolsas de recolección de biogás, que se corrigió con el transcurso de las semanas, es probable que la poca producción es a consecuencia de que esas 4 semanas las bolsas dejaron escapar biogás. Entonces la ecuación (3) representa la producción de gas metano en función del TRH.

Ecuación (3)

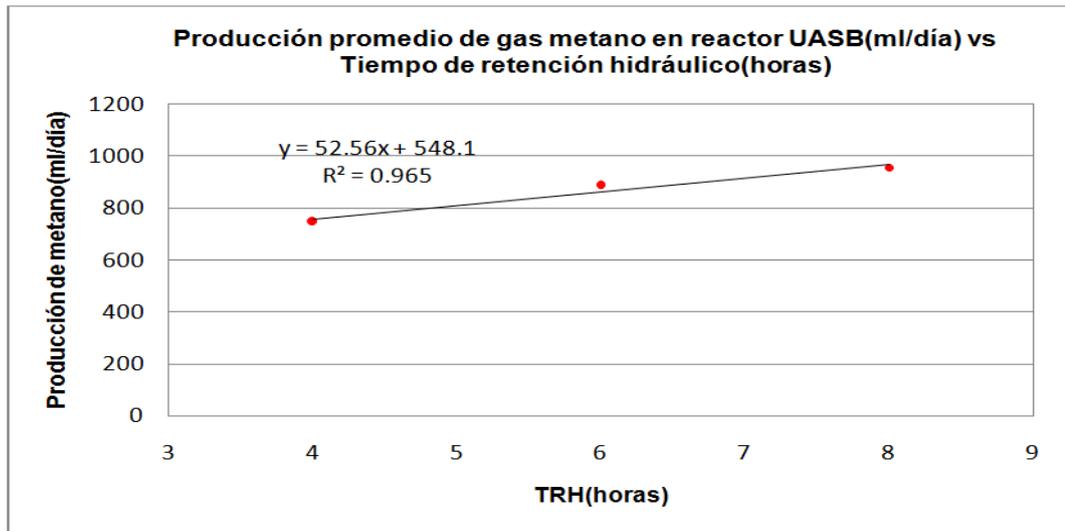
$$\text{Producción de gas metano (PtoF)} \left(\frac{\text{ml}}{\text{día}} \right) = 52.562 * \text{TRH} + 548.18$$



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.21: Producción promedio de gas metano en reactor UASB (ml/día) vs Tiempo de retención hidráulico (horas) TRH=4-6-8-12-14



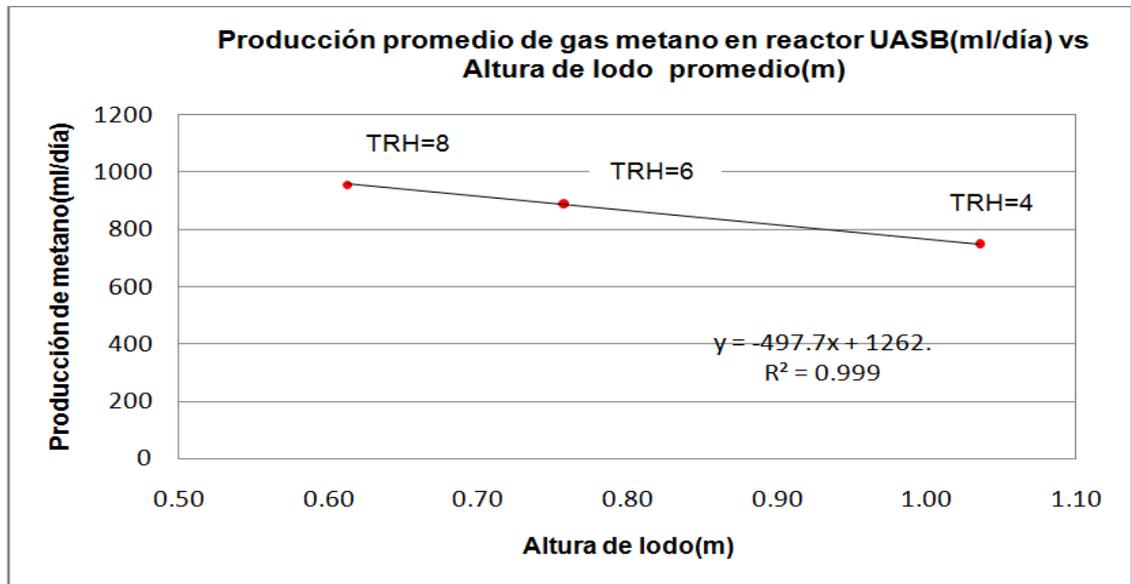
Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.22: Producción promedio de gas metano en reactor UASB (ml/día) vs Tiempo de retención hidráulica (horas) TRH=4-6-8

Del análisis anterior para ver el comportamiento altura de lodo (ver gráfico 7.23) y DQO total (Pto A) (ver gráfico N°7.24) vs producción de gas, excluimos la producción de gas metano para TRH=12-14horas.

Respecto a producción de gas metano a la altura de lodo, se evidencia que la expansión del lodo no significa una mayor producción de gas metano, ya que la producción de biomasa en un periodo de 6 semanas aplicado TRH=4-6-8 horas no es suficiente para aumentar la biomasa. Al observar una relación inversamente proporcional de la altura de lodo a la producción de gas metano. Pero si se aplicara un TRH constante por más de 1 mes, la relación de altura de lodo y producción de gas metano si es directamente proporcional, ya que la expansión no solo será por el TRH aplicado, también será por el aumento de biomasa y por lo tanto aumento de altura.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.23: Producción promedio de gas metano en reactor UASB(ml/día) vs Altura de lodo promedio(m)

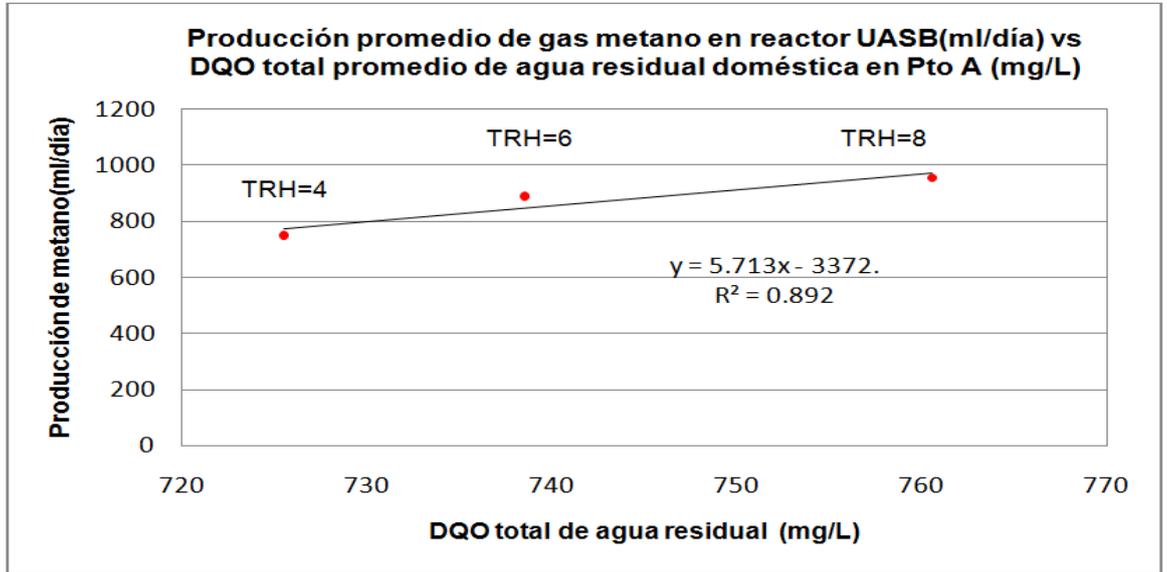
Respecto a la mayor o menor materia orgánica que ingresa al reactor, la gráfica indica que a mayor materia orgánica de ingreso hay una mayor producción de gas metano, pero es necesario saber cuánto metano disuelto se escapa en el efluente tratado, una parte es la que se recolecta en las bolsas. Para saber con certeza la fracción de DQO transformada en metano.

Ecuación (4)

$$DQO(CH_4) = DQO(CH_4)(Bolsa\ de\ biogas) + DQO(CH_4)(Disuelto\ en\ efluente)$$

La temperatura de agua de ingreso de agua residual es similar a la temperatura de lodo dentro del reactor, entonces el comportamiento de la temperatura a la producción de gas metano (Ver gráfico N° 7.25), la gráfica nos muestra la tendencia de mejorar la producción de metano cuando crece la temperatura, pero la temperatura de ingreso de agua residual está en el rango de 7-21°C y en promedio 13.46°C el lodo dentro del reactor asumirá esta temperatura, en este rango de temperaturas la actividad de hidrólisis y metanogénica se prolonga, por tal motivo

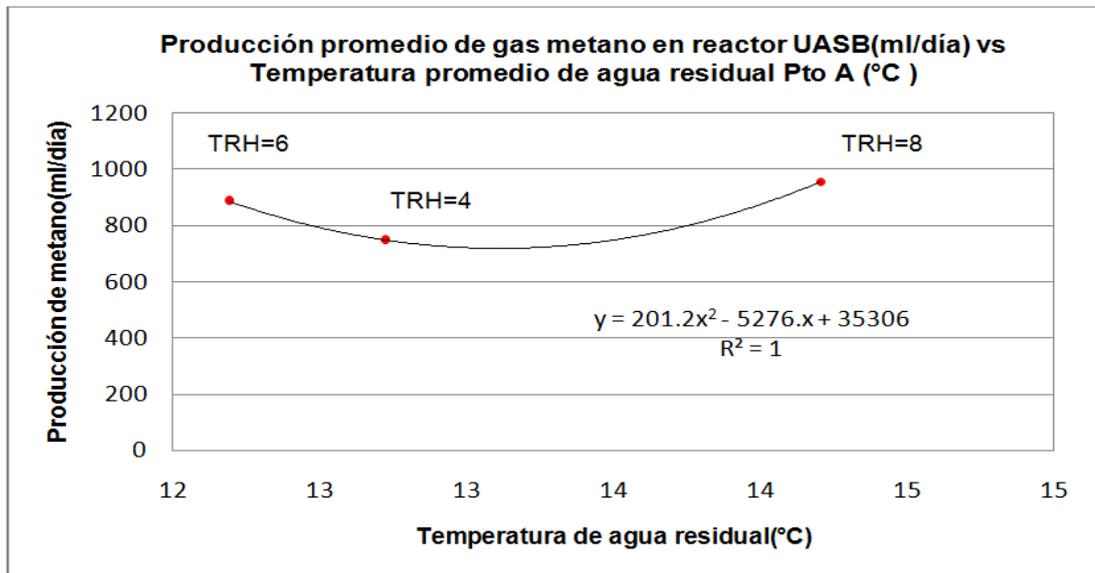
la operación del digestor es importante para reemplazar una capa de manto de lodo e inyectar bacterias preparadas para digerir la materia orgánica que ingresa.



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.24: Producción de gas metano en reactor UASB(ml/día) vs DQO total promedio de agua residual doméstica en Pto A (mg/L)



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH

Gráfico N° 7.25: Producción promedio de gas metano en reactor UASB(ml/día) vs Temperatura promedio de agua residual Pto A(°C)

La producción de gas metano en el digestor, se mantiene a condiciones constante de un TRH de 10 días una temperatura en el rango de 25-35°C, por lo tanto el gas generado debe ser similares cantidades en todas las semanas de etapa 2, pero los registros nos muestras variaciones, al relacionar la temperatura del digestor en función de la producción de gas metano (Ver gráfico N° 7.26), el ajusté de datos no es satisfactoria, pero en términos generales hay una mayor producción de gas metano en el digestor que en el reactor UASB.

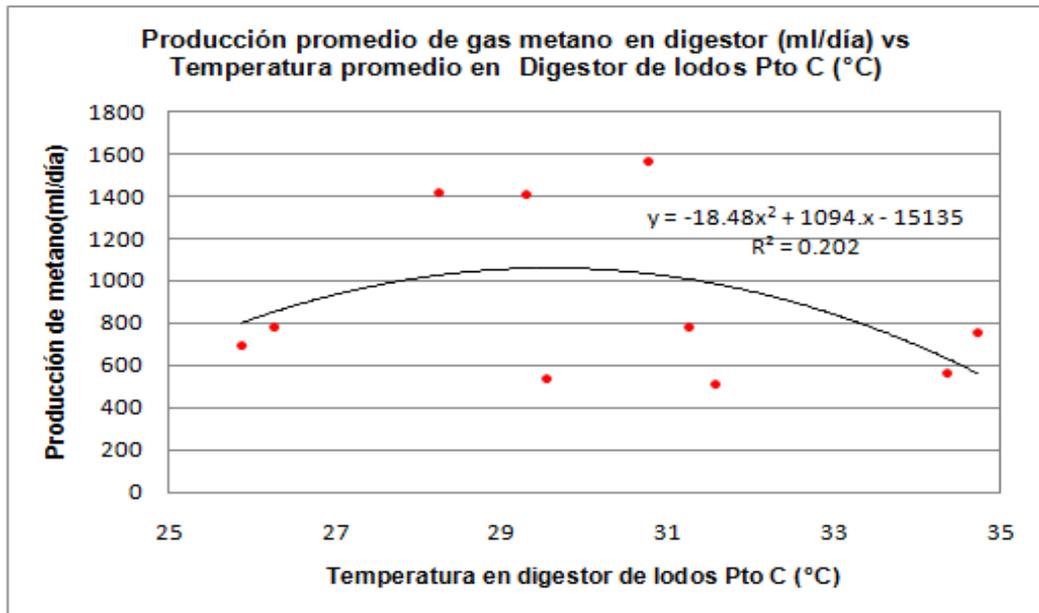


Gráfico N° 7.26: Producción promedio de gas metano en digestor (ml/día) vs Temperatura promedio en Digestor de lodos Pto C (°C)

7.1.12 ALTURA DE LODO

La altura de lodo del UASB está condicionado por el crecimiento de la biomasa y por la velocidad ascensional aplicado ambos originan su crecimiento, el crecimiento por biomasa es lento, en los 6 meses de operación creció poco, no se purgo del reactor UASB, pero a partir de la etapa 2, para el digestor de lodos se purgo 50ml de lodo en 3 meses de operación, la expansión del lodo es producido por la velocidad ascensional variada por

cada TRH al graficar la velocidad ascensional en orden ascendente y su respectiva altura de lodo (Ver gráfico N° 7.27)

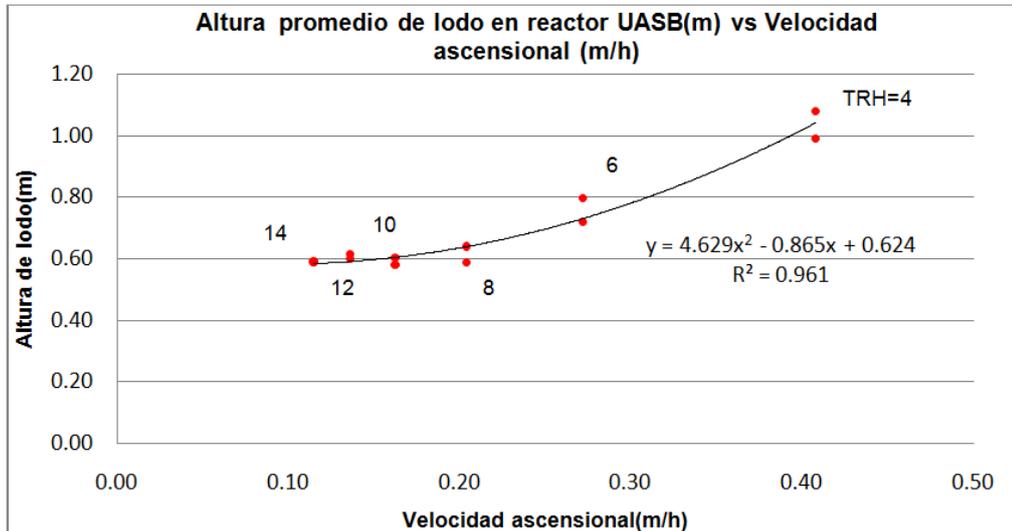


Gráfico N° 7.27: Altura promedio de lodo en reactor UASB (m) vs Velocidad ascensional (m/h)

Se aprecia que hay un relación directamente proporcional de la altura de lodo a la velocidad ascensional aplicado, la curva ajustada muestra que la altura de lodo en un 96% es afectado por la velocidad ascensional, el porcentaje que hace falta para el 100%, probablemente es el por el crecimiento biológico de biomasa en el reactor UASB.

Respecto al digester la altura de lodo se mantuvo siempre en 90cm en toda la etapa 2. La característica de lodo del UASB y digester es flocúleno (Ver fotografía N°11.2).

Respecto a la velocidad ascensional y su efecto en el volumen de lodo en el reactor UASB(Ver gráfico N° 7.28) hay una relación directamente proporcional a la velocidad ascensional respecto al volumen de lodo en reactor en promedio 12.4 litros, un máximo volumen de lodo 19.1 litros para 0.41 m/h y 10.4 litros para una velocidad ascensional(Va) de 0.12 m/h. El ajuste de curva muestra, que el coeficiente de correlación cuadrática es de 96%.

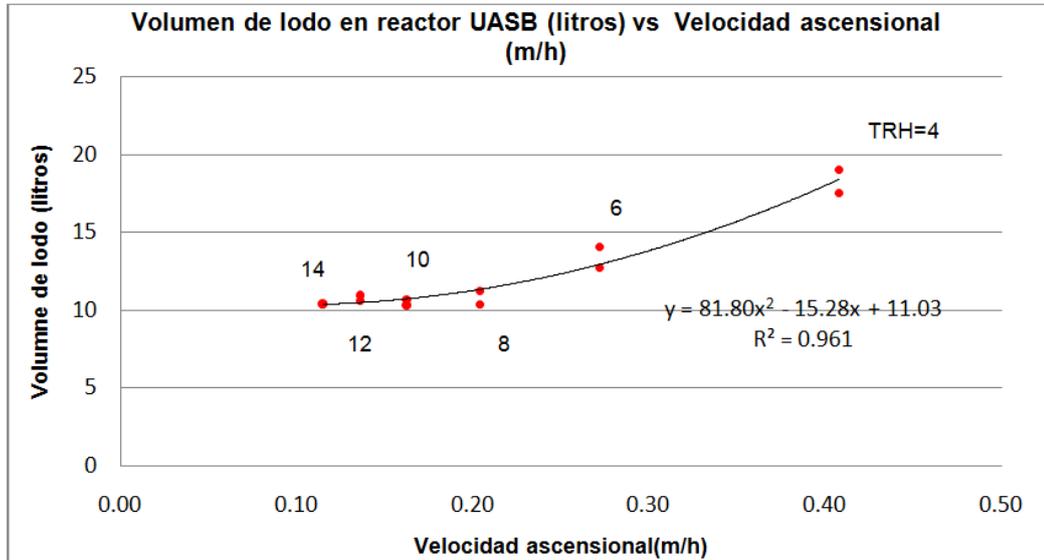


Gráfico N° 7.28: Volumen de lodo en reactor UASB (litros) vs Velocidad ascensional (m/h)

Ecuación (5)

$$\text{Volumen de lodo en reactor UASB} = 81.0 * Va^2 - 15.28 * Va + 11.03$$

Entonces la velocidad ascensional es un parámetro clave en la expansión de lodo del reactor UASB, se facilita también su expansión por las características floculentas del lodo.

El volumen de lodo en reactor UASB a consecuencia de 3 posibles efectos hay un incremento del volumen:

1. **Crecimiento de biomasa:** Generación de nuevo material celular a causa del proceso de digestión anaerobio.
2. **Expansión de lodo:** Incremento aparente de volumen de lodo por operación del reactor UASB, la velocidad ascensional afecta de manera directamente proporcional al aumento de volumen de lodo.
3. **Recirculación UASB-Digestor:** La recirculación de lodo no es del todo homogénea por la longitud de recorrido de las mangueras, el tramo UASB-Digestor es más largo que el tramo Digestor-UASB.

7.1.12 CARGA ORGÁNICA

La eficiencia de remoción de carga orgánica (Ver gráfico N° 7.29), durante toda la investigación la eficiencia de remoción en promedio es 47.6% con un máximo de 67.3% y un mínimo de 17.2%, la mejor remoción es para la etapa 2 con el TRH de 14 horas en promedio 60.7% , la más baja remoción de carga orgánica para el TRH de 4 horas en promedio 25.3%, a más TRH mejora la remoción de carga orgánica, para los TRH de 14, 12, 10, 8 para la etapa 2 el porcentaje de remoción promedio es 54% este resultado es positivo ya que el reactor UASB-digestor puede soportar cargar para el rango de 14-8 horas, teniendo resultados iguales o mayores al 50%.

Los valores promedios cada dos semanas aplicados un mismo TRH, se ajustan mejor a una ecuación cuadrática, esta ecuación identifica en función del TRH la eficiencia de remoción de carga orgánica. (Ver gráfico N° 7.30), la ecuación cuadrática muestra un coeficiente de correlación en un 86%.

Ecuación (6)

$$\% \text{Eficiencia de remoción carga orgánica} = -0.343 * TRH^2 + 9.043 * TRH - 2.146$$

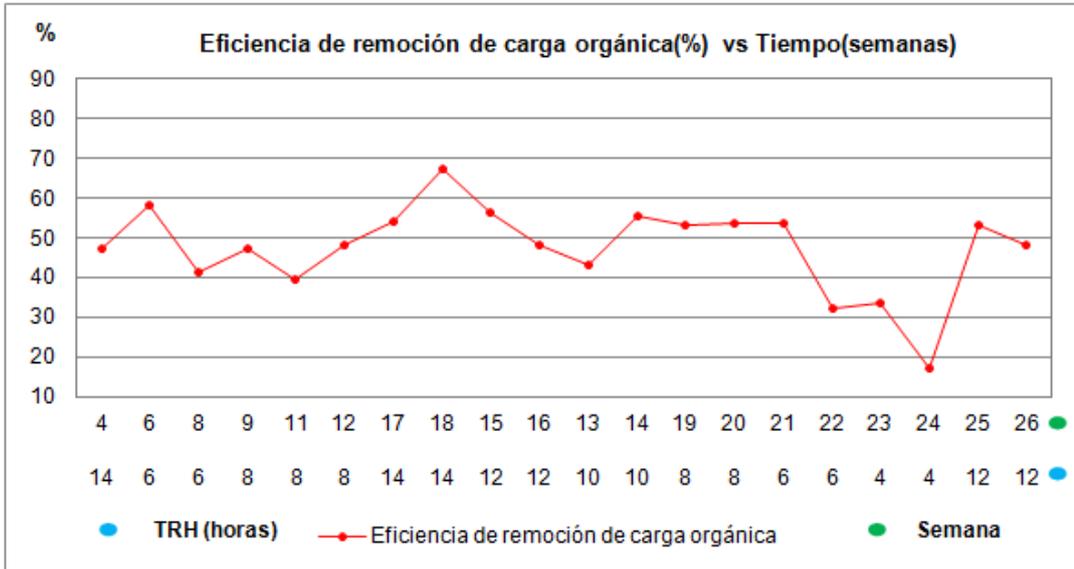
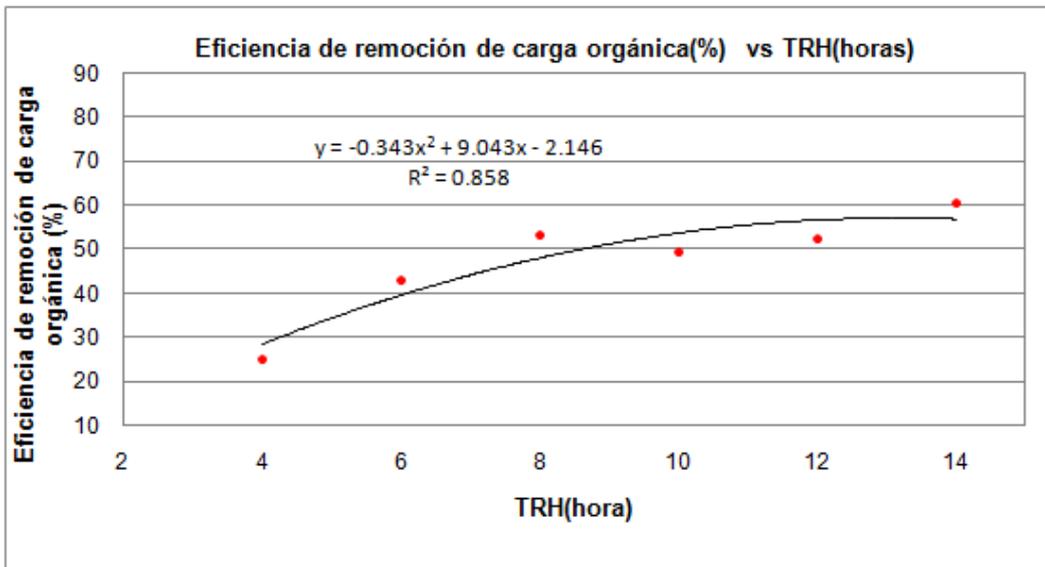


Gráfico N° 7.29: Eficiencia de remoción de carga orgánica(%) vs Tiempo acumulado (semanas)



Donde:

Cada punto es el promedio de 2 semanas aplicadas, con un mismo TRH para etapa 2

Gráfico N° 7.30: Eficiencia de remoción de carga orgánica(%) vs TRH (horas)

7.2 SELECCIÓN DE TRH PARA REACTOR UASB Y BALANCE DE MASA DQO

De la etapa 2, el parámetro de diseño del digestor ha sido constante, tiempo de retención de hidráulica (TRH) de 10 días, condiciones recirculación de lodo 15 minutos encendido y 165 minutos apagado, la condición de operación del reactor UASB es variable ya que se operó en el siguiente orden de caudales: 69.1-57.6-49.0-86.4-115.2-172.8 L/día cada uno de estos caudales corresponde: 10-12-14-8-6-4 horas tiempo de retención hidráulica respectivamente, cada caudal se estudió por dos semanas. La investigación buscó saber el porcentaje de remoción de materia orgánica usando en un reactor UASB-digestor, como tratamiento primario para localidades de altitud iguales a 3800msnm donde la temperatura ambiental en promedio es 15°C, máxima de 20 °C y mínima de 8°C. De las ecuaciones (1) (2) y (6) tabulamos los TRH cada 0.4 horas. (Ver cuadro N° 7.1). De la tabla la mejor remoción para carga orgánica, DQO total y DBO₅, corresponde para un TRH de 12 horas.

BALANCE DE MATERIA DQO REACTOR UASB-DIGESTOR

Ecuación (7)

$$DQO(i) = DQO(e) + DQO(CH_4) + DQO(lp) + DQO(la) + DQO(p)$$

Balance por día: DQO=DQO (g/L)*Caudal (L/día)

Balance para la semana 15 y 16 : DQO= DQO(g/día)*14días

El balance de masa para DQO para reactor UASB-Digestor con TRH=12 horas para UASB y 10 días TRH para digestor de lodos, el balance es para la semana 15 y 16, los datos son los promedios diarios para dos semanas, el balance es para 14 días que corresponde a la semana 15 y 16 (Ver cuadro N° 6.15-6.16).

A) DQO(i)

En estas dos semanas se miden dos veces la DQO del afluente de agua residual doméstica, con el valor promedio se obtiene DQO(i).

DQO(i) por día:

$$DQO(i) = \frac{\left(\frac{709.5\text{mg}}{\text{L}}\right) * \text{g}}{1000\text{mg}} * \frac{\left(\frac{40\text{ml}}{\text{min}}\right) * 1\text{L} * \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}}\right) * \left(\frac{24\text{h}}{1\text{día}}\right)}{1000\text{ml}}$$

$$= 40.86 \text{ g/día}$$

DQO(i) por 14 días:

$$DQO(i) = \left(40.86 \frac{\text{g}}{\text{día}}\right) * 14\text{días} = 572.04 \text{ g}$$

Cuadro N° 7.1: Eficiencia de remoción carga orgánica en reactor UASB-Digestor

TRH(horas)	Carga orgánica (Ecuación 6)	DBO ₅ (Ecuación-1)	DQO total (Ecuación-2)
	% Remoción	% Remoción	% Remoción
4	28.54	35.69	28.53
4.4	31.00	36.14	30.99
4.8	33.36	36.64	33.34
5.2	35.60	37.20	35.58
5.6	37.74	37.83	37.71
6	39.76	38.51	39.74
6.4	41.68	39.25	41.65
6.8	43.49	40.05	43.45
7.2	45.18	40.92	45.14
7.6	46.77	41.84	46.73
8	48.25	42.82	48.20
8.4	49.61	43.86	49.56
8.8	50.87	44.96	50.81
9.2	52.02	46.12	51.95
9.6	53.06	47.34	52.98
10	53.98	48.62	53.91
10.4	54.80	49.96	54.72
10.8	55.51	51.36	55.42
11.2	56.11	52.82	56.01
11.6	56.60	54.34	56.49
12	56.98	55.92	56.87
12.4	57.25	57.56	57.13
12.8	57.41	59.26	57.28
13.2	57.46	61.02	57.32
13.6	57.40	62.83	57.25
14	57.23	64.71	57.08

B) DQO(e)

En estas dos semanas se miden dos veces la DQO del efluente del reactor UASB-Digestor, con el valor promedio se obtiene DQO(e).

DQO(e) por día:

$$DQO(e) = \frac{\left(\frac{335.5\text{mg}}{\text{L}}\right) * \text{g}}{1000\text{mg}} * \frac{\left(\frac{40\text{ml}}{\text{min}}\right) * 1\text{L} * \left(\frac{60\text{min}}{1\text{h}}\right) * \left(\frac{24\text{h}}{1\text{día}}\right)}{1000\text{ml}} = 19.32 \text{ g/día}$$

DQO(e) por 14 días:

$$DQO(e) = \left(19.32 \frac{\text{g}}{\text{día}}\right) * 14\text{días} = 270.48 \text{ g}$$

C) DQO(lp)

Para cuantificar la biomasa en términos de la DQO, es útil conocer la producción de biomasa en reactores anaerobios, a continuación se detalla.

Producción de biomasa en reactores anaerobios

Equivalentes de la DQO:

Glucosa: 1.07g O₂/g de glucosa ó g DQO/g Glucosa

Ácido acético: 1.07g DQO/g ácido Acético

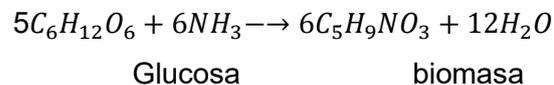
Densidad de lodo flocúlenlo: 1024kg/m³ (Medido en CITRAR-UNI)

Porcentaje de SSV/ST en lodo: 80%(asumimos)

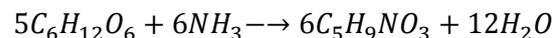
Coeficientes de producción:

$$Y = \frac{dx/dt}{ds/dt} = \frac{\text{biomasa-producida}}{\text{sustrato-removido}} \dots\dots\dots \text{Relación Bauchonp}$$

La degradación de materia orgánica en la transformación de biomasa:



Por regla de tres simple por cada 1g de biomasa se necesita 1.15g de glucosa entonces para 40g de biomasa se requiere 46 g de glucosa. La producción de ácido acético de acuerdo a la ecuación:



Se necesita 180 g de glucosa para producir 120 g de ácido acético, La conversión en biomasa y ácido acético, se necesita 226g de glucosa, equivalentes en DQO es 1.07x226=241g DQO-glucosa

Ecuación (8)

$$Y = \frac{40g \text{ de biomasa producida}}{241 g \text{ de glucosa}} = 0.166g \text{ SSV/gDQO}$$

Durante la investigación no se purgo lodo del UASB, pero del digestor si se purgo, durante las 12 semanas de investigación fue aproximadamente 50ml de lodo, como el balance es para dos semanas su volumen equivalente es $50 \cdot 2 / 12 = 8.33ml$

$$0.166 = 1024 * 0.00833 * 0.8/gDQO$$

$$\text{DQO (lp)} = 41.12 \text{ g}$$

D) DQO(la)

Durante la investigación el crecimiento del lodo en reactor UASB, es a consecuencia de un 96% por la velocidad ascensional aplicado, pero el 4% restante es por el crecimiento de biomasa en reactor UASB, la diferencia de altura en las dos semanas de operación es 1.6cm al calcular el volumen de esta sección, resulta que el crecimiento corresponde un 4%.

$$V = 4\% * 0.016 * 0.15^2 * \frac{\pi}{4} = 1.13 * 10^{-5} m^3 = 11.31ml$$

$$0.166 = 1024 * 0.01131 * 0.8/gDQO$$

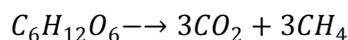
$$\text{DQO (la)} = 55.81 \text{ g}$$

E) DQO(CH₄)

La producción de metano total en el reactor UASB-Digestor es la suma de gas metano captado por el separador de fases y el disuelto en el efluente, ver ecuación (4), es útil conocer la equivalencia del metano producido en términos de la DQO, a continuación se detalla.

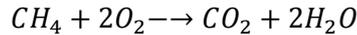
Conversión de producción de gas metano a DQO

Degradación de la glucosa (materia orgánica) bajo condiciones anaerobias



La demanda de oxígeno es requerida por el CH₄

La remoción de DQO se da al final de la etapa metanogénica donde se forma el metano, la materia orgánica inicial se libera a la atmósfera en forma de metano gaseoso. La estimación de producción de gas metano:



Para 1mol de metano es necesario 2 moles de O₂ (64g de O₂), se remueve 64g DQO. Conociendo la producción de gas podemos estimar la DQO transformada a metano.

$$n_{CH_4} = 1molCH_4 * DQO/64$$

De la ecuación de los gases ideales:

$$PV = RTn_{CH_4}$$

V_{CH_4} : Volumen de gas metano medido en bolsas de gas ó disuelto (Litros).

P: Presión (atm).

R: Constante (0.082atm*l/mol*k)

T: Temperatura en Kelvin (T°+273)

n_{CH_4} : Moles de CH_4

Al despejar la DQO:

Ecuación (9)

$$DQO = \frac{V_{CH_4} * P * 64}{RT}; P=0.624atm \text{ (presión a altitud 3827msnm Puno);}$$

T°Ambiental=13°C (durante la investigación)

E.1) DQO(CH_4) (Bolsa de biogas)

El biogás es captado por el separador de fases del reactor UASB, en los monitoreos se cuantifico solo metano, de acuerdo a este dato promedio por día se cacluló la producción total para 14 días del balance (semana 15 y 16)

Reactor UASB

Bolsas de gas (ml/día) = 52.562 * TRH + 548.18; ecuación (3)
TRH=12horas(semmana 15 y 16)

Bolsa de biogas por día (ml/día): $\frac{1178.9ml}{día}$

Bolsa de biogas para 14 días:

$$\left(\frac{1178.9ml}{día}\right) * 14días = \mathbf{16504.6ml}$$

Digestor de lodos

Bolsa de biogas (ml/día) =961.2ml/día;

Bolsa de biogas para 14 días:

$$\left(\frac{961.2ml}{día}\right) * 14días = \mathbf{13456.6ml}$$

El volumen total en la bolsa de biogas será la suma de la producción de reactor UASB y el digestor de lodos

$$\mathbf{V_{CH_4} (Bolsa de biogas)= 29961.2 ml}$$

Al reemplazar en la ecuación (9) obtenemos el total de DQO eliminado en forma de metano en el reactor UASB-Digestor.

$$\mathbf{DQO (CH_4)(Bolsa de biogas) = 51.02 g}$$

E.2) DQO(CH₄) (Disuelto en el efluente)

Una parte del metano producido por el reactor UASB se pierde en el efluente, esto debido a la solubilidad del metano en el agua, al calcular en forma teórica con la ley de Henry.

$$p = H * X$$

$$X_{CH_4} = \frac{n_{CH_4}}{n_{CH_4} + n_{agua}} = \frac{n_{CH_4}}{n_{CH_4} + 55.6}$$

Donde:

p: Presión parcial de metano en fase gas (atm)

H: Constante de Henry (en función de temperatura Ver cuadro N° 7.2)

Cuadro N° 7.2 Constante de Henry para el metano

T°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40
10(-4)xH(atm*/l/mol)	2.24	2.59	2.97	3.37	3.76	4.13	4.49	4.86	5.2

X=Fracción molar de metano en agua. X= moles CH₄/moles totales; 1 litro de agua (1kg) contiene 55.6 moles H₂O

De lo anterior la solubilidad del metano en agua para temperaturas de 13°C y 20°C muestra en relación al porcentaje del biogás (Ver cuadro N° 7.3)

Cuadro N° 7.3: Solubilidad de metano en agua

Saturación (Ley de Henry)		
Composición de metano en biogás	Solubilidad (ml CH ₄ /L efluente)	
	13°C	20°C
50%	20.3	17.8
60%	24.4	21.3
70%	28.4	24.9
80%	32.5	28.4

Del cuadro se asume un 70% de metano a una temperatura de 13° de agua residual, la solubilidad de metano es 24.4ml/litro de efluente.

Por día, el volumen de metano disuelto en efluente es:

$$\frac{28.4ml}{L} * \frac{40ml * 60min * 24h * 1L}{1min * 1h * 1día * 1000ml} = \left(\frac{1635.84ml}{día} \right)$$

Disuelto en el efluente para 14 días:

$$V_{CH_4}(\text{Disuelto en efluente}) = 1635.84ml/día * 14días = 22901.76ml$$

Al reemplazar volumen producido en ecuación (9)
P=0.624atm; T=13°C

$$DQO (CH_4)(\text{Disuelto en el efluente}) = 39.00g$$

Al reemplazar en la ecuación (4), se obtiene el total de metano en términos de la DQO.

$$DQO (CH_4) = 51.02 g$$

BALANCE DE MATERIA DQO EN REACTOR UASB-DIGESTOR

$$572.04 = 270.48 + 51.02 + 39.00 + 41.12 + 55.81 + DQO(p)$$

$$DQO p = 114.61 \text{ g}$$

Este valor de la DQOp no representa la interacción en el reactor UASB-Digestor.

La DQO removida = DQO biogas + DQO(la) + DQO(lp)

$$301.56 \text{ g} = DQO \text{ biogas} + 96.93 \text{ g}$$

$$DQO \text{ biogas} = DQO(CH_4) + DQOp$$

DQO biogas = 204.63g se asume que el 70% se transforma en gas metano.

$$DQO (CH_4) = 70\% \cdot 204.63 = 143.24 \text{ g}$$

$$DQO p = 61.39 \text{ g}$$

BALANCE FINAL DE MATERIA DQO EN REACTOR UASB-DIGESTOR

$$572.04 = 270.48 + 143.24 + 41.12 + 55.81 + 61.39$$

Ahora este valor DQOp es razonable, a consecuencia de los procesos sulfatoreducción, Nitrificación-desnitrificación, oxidación anóxica del Fe^{+2} (mancha roja en pared del UASB depósitos de Fe^{+3}) que siempre es en menor cantidad que la producción de metano, aún con esta corrección la purga de lodos y acumulación de lodo es grande, también una causa es el traslado de lodo del reactor UASB a digestor y en sentido inverso, ya que si se traslada más lodo del digestor al reactor UASB hay un crecimiento de biomasa que no corresponde a lo que está digiriendo el manto de lodo del UASB, pero en general el balance obtenido es bastante óptimo. (Ver figura 7.1), en resumen los resultados para la mejor operación de la etapa 2 es para la semana 15 y 16 (Ver cuadro N° 7.4)

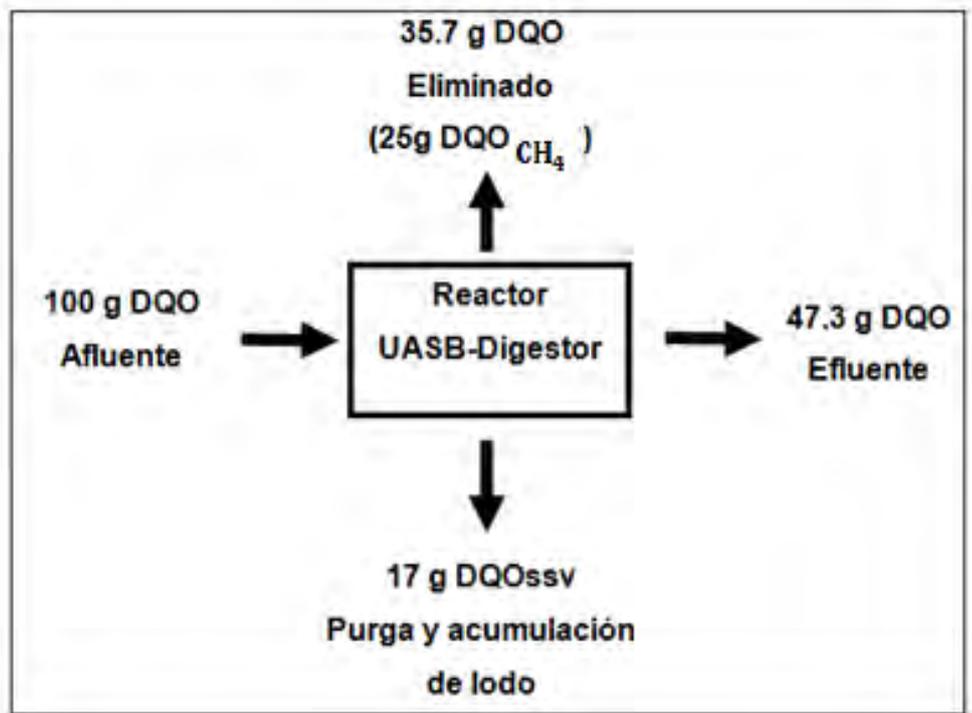


Figura N° 7.1: Balance DQO para semana 15 y 16

7.3 SELECCIÓN DE TRH PARA EL DIGESTOR DE LODOS Y VOLUMEN DEL DIGESTOR DE LODOS

La etapa 3 corresponde a la semana 25 y 26, es la aplicación de la mejor condición de operación de la etapa 2 para el reactor UASB (TRH=12 horas UASB), para mejorar las condiciones operacionales del digestor de lodos. El digestor funciona ahora a un TRH= 20 días, la temperatura se mantiene de lodo se mantiene de 25-35°C, la altura de lodo se conserva 90cm, con estas nuevas condiciones se operó durante dos semanas. La eficiencia de remoción de parámetros monitoreados al promediar cada dos semanas. (Ver cuadro N° 7.5)

Cuadro N° 7.4: UASB-Digestor para TRH (UASB)=12 horas TRH (Digestor)=10días

Reactor UASB-digestor	
Operacional	
UASB	TRH=12 horas
Digestor	TRH=10 días
Temperatura de lodo en digestor	25-35°C
Temperatura de agua residual	7-20°C
Velocidad ascensional UASB	0.14m/h
Producción de gas metano UASB	1179ml/día
Producción de gas metano digestor	961.2ml/día
Parámetro	Eficiencia de remoción promedio
Turbiedad	79.0%
DQO total	52.3%
DQO soluble	4.0%
DBO ₅	57.0%
Sólidos suspendidos totales	75.7%
Sólidos totales	23.4%
Sólidos volátiles totales	62.50%
Sólidos disueltos totales	6.70%
Sólidos sedimentables	100%
Carga orgánica	52.3%

Los resultados del cuadro muestra los efectos del cambio de operación del digestor de lodos, las eficiencias de remoción respecto a la turbiedad, sólidos suspendidos totales, DQO total, son similares a los del cuadro N° 7.4. La mejora la podemos visualizar en la producción de gas metano en el digestor, hay un 37% más de gas metano.

La producción de gas metano en UASB 1372 ml/día nos confirma que la curva que se ajustó en la ecuación (3) es correcta ya que para TRH=12horas en la ecuación (3) da como resultado 1179 ml/día un valor cercano al obtenido.

Para determinar el volumen del digestor de lodos depende de 2 variables relacionados con a la eficiencia final de remoción de DQO total de reactor UASB y el TRH del digestor de lodos.

Cuadro N° 7.5: UASB-digestor para TRH (UASB)=12 horas TRH (Digestor)=20días

Reactor UASB-digestor	
Operacional	
UASB	TRH=12 horas
Digestor	TRH=20días
Temperatura de lodo en digestor	25-35°C
Temperatura de agua residual	7-20°C
Velocidad ascensional UASB	0.14m/h
Producción de gas metano UASB	1372.8ml/día
Producción de gas metano digestor	1528.8ml/día
Parámetro	Eficiencia de remoción promedio
Turbiedad	72.0%
DQO total	51.0%
DQO soluble	-
DBO ₅	-
Sólidos suspendidos totales	67.4%
Sólidos totales	-
Sólidos volátiles totales	-
Sólidos disueltos totales	-
Sólidos sedimentables	100%
Carga orgánica	50.8%

1. **TRH para digestor de lodos:** Es el TRH óptima para el digestor de lodos.
2. **Porcentaje de lodo reemplazado:** Porcentaje de manto de lodo del reactor UASB a reemplazar en un día de operación.
3. **Volumen de lodo en reactor UASB:** Es el rango de volumen de lodo que operará en el reactor UASB.

De acuerdo a estas dos variables el volumen del digestor de lodos es:

Ecuación (10)

$$V = \% \text{ lodo reemplazado} * \text{Volumen de lodo en reactor UASB} * \text{TRH}$$

A. TRH PARA EL DIGESTOR DE LODOS

A partir de la semana 8 el reactor UASB – digestor se estabilizó su operación (traslado de lodo adecuado) (Ver sección 5.14.3) a

partir de esa semana se ensayo los parámetros de operación con respecto a la eficiencia de remoción de carga orgánica, TRH y volumen recirculado en un día (Ver cuadro N° 7.6)

Del cuadro a inicios de la investigación semanas del 1 a 7 se llegó cambiar el 100% del manto de lodo al reactor UASB incluso en la semana 3 se cambio en un solo día 4 veces el manto de lodo del reactor UASB, fueron operaciones de prueba para lograr un traslado de lodo del reactor UASB al digestor.

Del cuadro al graficar a partir de la semana 9, el porcentaje reemplazado en el manto de lodo de reactor UASB(Ver gráfico N° 7.31), se aprecia un en el rango desde un 54.3% a 8.6% del volumen total de lodo del reactor UASB, el porcentaje aplicado disminuye conforme pasan las semanas. El menor reemplazo de lodo es 8.6% corresponde a la operación 19.6 días de TRH para el digestor de lodos, el mayor reemplazo de lodo de 54.3% corresponde a la operación de 6.2 días de TRH para el digestor de lodos. Del cuadro N° 7.6 un nuevo cuadro resumen para las semanas 9-11-12-13-19-20-25-26, para encontrar el TRH óptima para el digestor de lodos. (Ver cuadro N° 7.7)

Al graficar la eficiencia de remoción de carga orgánica respecto al TRH del digestor (Ver gráfica N° 7.32), el coeficiente de correlación se ajusta a un 60% a la ecuación cuadrática.

Ecuación (11)

$$\text{Eficiencia de remoción de carga orgánica}(\%) = -0.195 * TRH^2 + 5.605 * TRH + 16.05$$

La ecuación se maximiza para un TRH de 14.37 días con un 56.32% de remoción de carga orgánica.

Entonces según el análisis el TRH del digestor de lodos es 14.4 días, en la curva se aprecia que para TRH de 20 días la remoción de carga orgánica se mantiene igual e incluso menor que eficiencia alcanzada en TRH de 10 días.

Cuadro N° 7.6: Resumen de operaciones en el digester de lodos

Digester de lodos					
Semana	Volumen de lodo en reactor UASB(litros)	Volumen de lodo recirculado en un día(litros)	Porcentaje de volumen de lodo reemplazado en el reactor UASB en un día (%)	TRH (días)	Eficiencia remoción de carga orgánica reactor UASB-Digester(%)
1	6.5	8.1	124.6	0.4	-
2	5.3	9.6	181.1	0.2	-
3	7.9	45.0	572.2	0.2	-
4	5.1	22.5	439.0	0.5	47.3
5	6.3	8.6	137.7	1.1	-
6	6.5	8.6	134.0	0.8	58.1
7	6.5	8.6	132.1	0.8	-
8	6.7	4.3	64.3	1.7	41.3
9	8.0	4.3	54.3	6.2	47.3
10	8.0	4.3	54.3	6.2	-
11	10.8	4.3	40.1	6.2	39.5
12	10.8	2.9	26.7	9.3	48.5
13	10.2	2.9	28.1	9.8	43.1
14	10.7	2.9	26.9	9.8	55.5
15	10.9	2.9	26.5	9.8	56.5
16	10.6	2.9	27.2	9.8	48.1
17	10.4	2.9	27.8	9.8	54.0
18	10.5	2.9	27.5	9.8	67.3
19	10.4	2.9	27.7	9.8	53.4
20	11.3	2.9	25.6	9.8	53.6
21	12.7	2.9	22.6	9.8	53.9
22	14.1	2.9	20.5	9.8	32.5
23	17.5	2.9	16.4	9.8	33.5
24	19.1	2.9	15.1	9.8	17.2
25	16.7	1.4	8.6	19.6	53.3
26	16.6	1.4	8.7	19.6	48.3

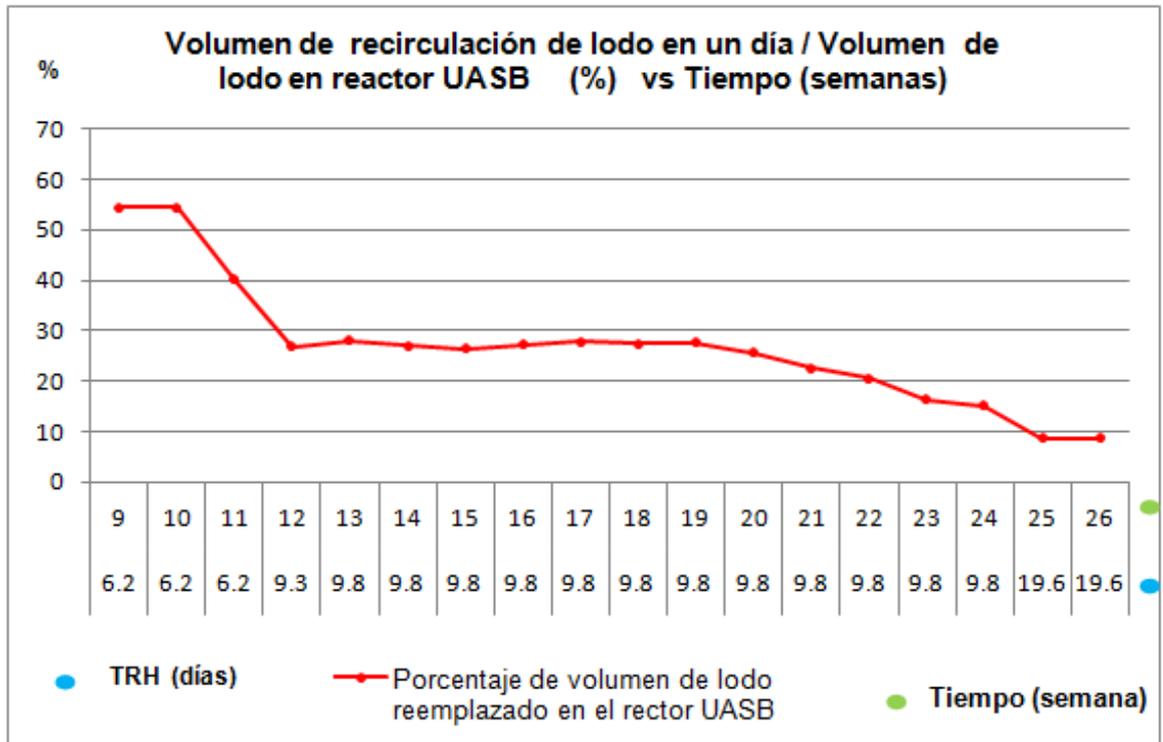


Gráfico N° 7.31: Volumen de recirculación en un día / Volumen de lodo en reactor UASB (%) vs Tiempo (semanas)

Cuadro N° 7.7: Resumen de operaciones en el digestor de lodos

Digestor de lodos			
Semana	TRH(días)	Eficiencia de remoción carga orgánica reactor UASB-Digestor(%)	Porcentaje de volumen de lodo reemplazado en el reactor UASB en un día(%)
9	6.2	47.3	54.3
11	6.2	39.5	40.1
12	9.3	48.5	26.7
19	9.8	53.4	27.7
20	9.8	53.6	25.6
25	19.6	53.3	8.6
26	19.6	48.3	8.7

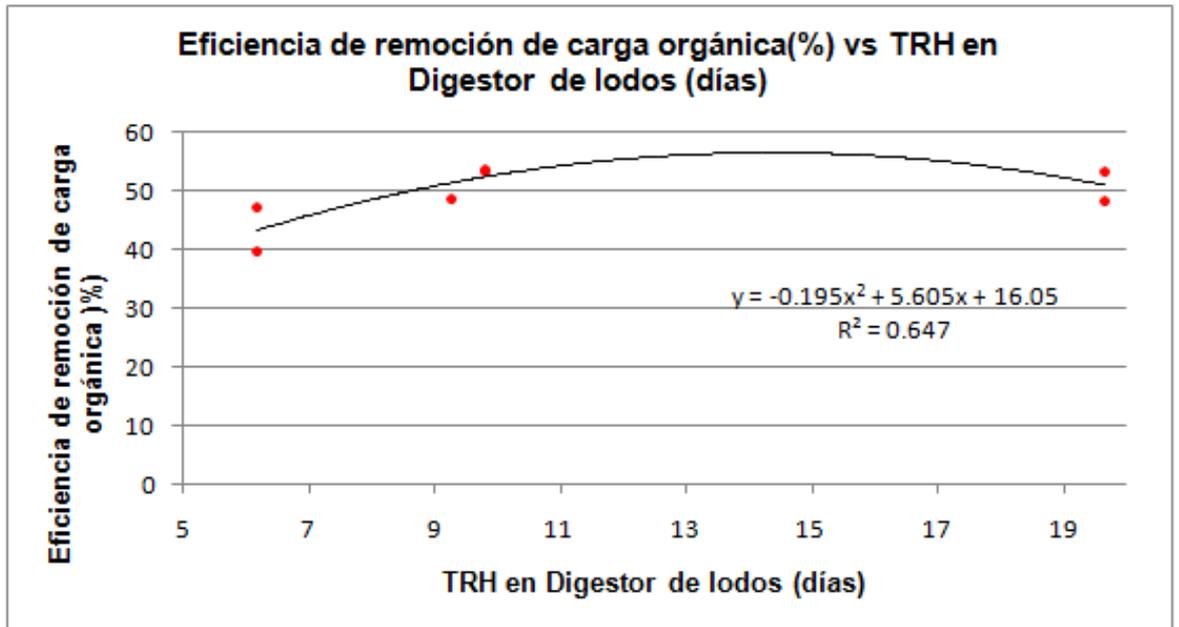


Gráfico N° 7.32: Eficiencia de remoción de carga orgánica (%) vs TRH en Digestor de lodos (días)

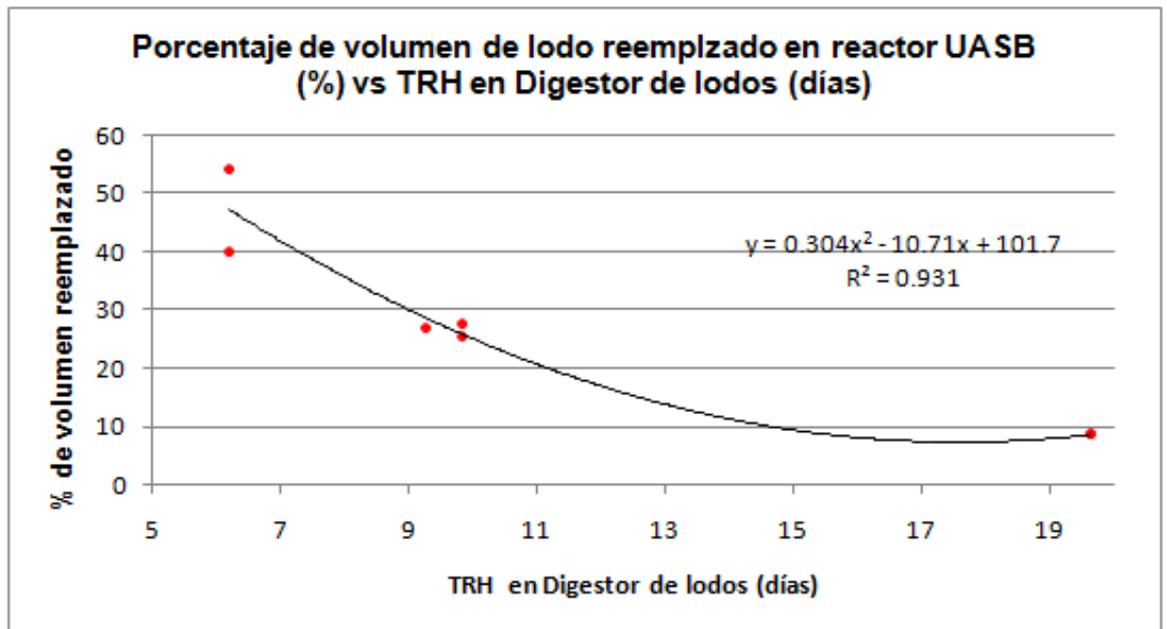


Gráfico N° 7.33: Porcentaje de volumen de lodo reemplazado en reactor UASB (%) vs TRH en Digestor de lodos (días)

B. PORCENTAJE DE LODO REEMPLAZADO

Es el porcentaje de manto de lodo del reactor UASB que es necesario reemplazar para un óptima TRH en digestor de lodos (Ver gráfico 7.33) Del gráfico ajustado a una ecuación cuadrática con un coeficiente de correlación de 93% que el TRH es directamente proporcional al porcentaje de volumen de lodo reemplazado al reactor UASB

Ecuación (12)

Volumen de lodo reemplazado reactor UASB(%)

$$= -0.304 * TRH^2 - 10.71 * TRH + 101.7$$

Para el digestor de lodos en investigación para un TRH de 14.4 días el porcentaje adecuado de reemplazo es 10.5 %.

Al evaluar en la ecuación (10) el volumen del digestor es:

Ecuación (13)

$$V = 10.5\% * \text{Volumen de lodo en reactor UASB/día} * 14.4\text{día}$$

C. VOLUMEN DE LODO EN REACTOR UASB

Es el volumen de lodo en el reactor UASB, la zona de digestión fue diseñado para un volumen de 21.2 litros, este volumen representa el volumen crítico, pues al sobrepasar este volumen se desperdicia lodo por lavado, el volumen máximo durante la investigación fue de 19.1 litros de lodo para 4 horas de TRH para el reactor UASB. Por tanto al variar el porcentaje de volumen de lodo en reactor UASB obtendremos un volumen promedio para el digestor de lodos con ayuda de la ecuación (13). (Ver cuadro N° 7.8). Entonces el volumen del digestor en promedio es 22 litros para un porcentaje de operación del manto de lodo del reactor UASB entre el 60 a 80% aplicado un TRH de 14-8 horas. El volumen del digestor es el 76% del volumen del reactor UASB.

Cuadro N° 7.8: Selección del volumen digestor de lodos

Porcentaje de volumen de lodo en zona de digestión (%)	Volumen de lodo en reactor UASB (litros)	Altura de lodo en reactor UASB(cm)	Porcentaje de altura de lodo en zona de digestión(%)	Volumen del Digestor de lodos ecuación-(13) (litros)	Porcentaje del volumen del digestor respecto al reactor UASB (%)	Característica de operación del manto de lodo del reactor UASB
100	21.2	120.0	100.0	32.1	110.53	Operación crítica, gran probabilidad de pérdida de lodo para un TRH de 6-4 horas reactor UASB, remoción de carga orgánica 38.1%
95	20.1	114.0	95.0	30.5	105.01	
90	19.1	108.0	90.0	28.8	99.48	
85	18.0	102.0	85.0	27.2	93.95	
80	17.0	96.0	80.0	25.6	88.43	Operación óptima para un rango 14-8 horas de TRH del reactor UASB, remoción carga orgánica promedio 53.3%
75	15.9	90.0	75.0	24.0	82.90	
70	14.8	84.0	70.0	22.4	77.37	
65	13.8	78.0	65.0	20.8	71.85	
60	12.7	72.0	60.0	19.2	66.32	
55	11.7	66.0	55.0	17.6	60.79	Arranque del manto de lodo por inoculación directa ó formación a partir del ingreso de agua residual
50	10.6	60.0	50.0	16.0	55.27	
45	9.5	54.0	45.0	14.4	49.74	
40	8.5	48.0	40.0	12.8	44.21	
35	7.4	42.0	35.0	11.2	38.69	
30	6.4	36.0	30.0	9.6	33.16	
25	5.3	30.0	25.0	8.0	27.63	
20	4.2	24.0	20.0	6.4	22.11	
15	3.2	18.0	15.0	4.8	16.58	
10	2.1	12.0	10.0	3.2	11.05	
2.5	0.5	3.0	2.5	0.8	2.8	

7.4 PARÁMETROS DE DISEÑO REACTOR UASB-DIGESTOR Y ASPECTOS POR INVESTIGAR

La discusión y análisis en la secciones anteriores permiten determinar criterios de diseño para un reactor UASB-Digestor en localidades ubicadas a una altitud de 3800msnm(Ver cuadro N° 7.9), especialmente para la cirunlacustre del departamento de Puno, caracterizado por climas fríos durante más de 6 meses al año con temperaturas 0-21°C. Pero es recomendable investigar a más profundidad el digestor de lodos, con al investigación realizada el diseño para el digestor de lodos es un 76% del volumen total del reactor UASB.

Cuadro N° 7.9: Características de un tratamiento primario optimizado para condiciones climáticas de bajas temperaturas “Reactor UASB-Digestor”

Reactor UASB -Digestor		
Características	UASB	Digestor de lodos
TRH	12 a 8 horas	14.4 días
Volumen	29 litros	22 litros
Remoción promedio de carga orgánica	53%	
Carga superficial	0.24 kg DBO/m ² *día	
Porcentaje remplazado del manto de lodo de UASB	11%	
Volumen de lodo recirculado en un día	1.54 litros/día	
Volumen de lodo en reactor UASB	12.6 a 16.8 litros	
Temperatura	Temperatura ambiental en climas fríos(8-21°C) en promedio 13°C	Acondicionado a temperatura de 25-35°C, en promedio 30°C
Recirculación de lodo	-----	Resultó mejor recircular todo el volumen requerido una vez al día
Altura de recirculación en zona de digestión	-----	<i>Ingreso de lodo a UASB:</i> 2.5% altura de operación máxima(3cm) <i>Salida de lodo al digestor:</i> 20% altura de operación máxima.(23cm)

ASPECTOS POR INVESTIGAR

1. La altura de recirculación de lodo en reactor UASB al digestor, para la investigación hecha se extrajo lodo a una altura de 23cm , es un 20% de la altura total de zona de digestión del reactor UASB y se introdujo lodo a una altura de 3cm, es un 2.5% de la altura tota de la zona de digestión. Hace falta investigar el comportamiento cuando se extrae lodo a un 40% (48cm) y 60% (72cm) de altura de la zona de digestión.
2. Con los parámetros de diseño encontrados para el reactor UASB-digestor (Ver cuadro N° 7.9) proyectar un diseño a escala más grande, puede ser para un caudal de 5 l/s. Proyectando a este caudal cuantificar la producción real de gas metano del reactor UASB-Digestor como sustento de energía para su calentamiento.
3. Desarrollar tecnología para el calentamiento solar para el digestor de lodos por ser energía renovable.
4. El volumen del digestor calculado en esta investigación representa un 76% del volumen total del reactor UASB, con los enyazos mencionado en los puntos 1-2-3 reducir este volumen a un 50%. De comprobar el aporte en un menor porcentaje del digestor de lodos al reactor UASB, debe diseñarse sin el digestor con los parámetros ya encontrados para el reactor UASB. (Ver cuadro N° 7.9)

7.5 ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO PRIMARIO OPTIMIZADO REACTOR UASB-DIGESTOR PARA PUNO

La ciudad de Puno para el tratamiento de aguas residuales domésticas tiene las siguientes unidades: una cámara de rejillas gruesa, dos desarenadores en paralelo y dos lagunas de estabilización, todas estas unidades juntas actualmente ocupan 21 hectáreas, con el tiempo este sistema de tratamiento será insostenible, ya que no hay áreas libres para construir más lagunas, una proyección para 20 años nos demuestra esa realidad. (Ver cuadro N° 7.10)

Cuadro N° 7.10: Características actual y proyectado al año 2033 respecto al tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Puno

Situación	Tratamiento de agua residuales domésticas en la ciudad de Puno		
Actual	Población(INEI -2007)	119116	Habitantes
	Dotación	220	L/hab*día
	Contribución al desague	80	%
	Cobertura de tratamiento	90	%
	Caudal	18868	m3/día
		218	L/s
	DBO promedio - 16 mediciones de investigación	257	mg/L
	Carga orgánica superficial	4840	kg DBO/día
	Área actual de las dos lagunas	21	Hectárea
Proyectado a 20 años	Tasa de crecimiento	0.5	%
	Años de proyección	26	años
	Población final	135609	Habitantes
	Dotación	220	L/hab*día
	Contribución al desague	80	%
	Cobertura de tratamiento	90	%
	Caudal	21480	m3/día
		249	L/s
	DBO promedio - 16 mediciones de investigación	257	mg/L
Carga orgánica superficial	5511	kg DBO/día	

El tratamiento primario optimizado reactor UASB-Digestor tiene ventajas respecto al tratamiento con lagunas de estabilización como "tratamiento primario" (Ver cuadro N° 7.11)

El área que ocuparía el reactor UASB-Digestor es de 2.3 hectáreas proyectado para el año 2033, solo un 10% de lo ocuparía las lagunas de estabilización, ya que con lagunas de estabilización ocuparía 22 hectáreas, además las 22 hectáreas supera el terreno disponible actualmente de 21 hectáreas. La poca área ocupada por el reactor UASB-Digestor permite tener área disponible para la proyección de tratamiento secundario con espacio disponible de 18 hectáreas.

Esta ventaja respecto al área en un reactor UASB-Digestor permite tener una alternativa potencial para continuar investigando su funcionamiento a mayor escala, ya que ocupando poca área logra una eficiencia de remoción en: 53% carga orgánica en promedio, 52% DQO total , 57% DBO_5 , 79% de turbiedad, 76% sólidos suspendidos totales, la producción de gas metano promedio para el reactor UASB es 1179 ml/día y para el digestor 961.2 ml/día.

Cuadro N° 7.11: Ventajas respecto al área ocupada por tratamiento primario optimizado UASB-Digestor

Laguna de estabilización		
Carga orgánica superficial a 20°C	250	kg DBO/hectárea*día
Área ocupada actual	19.4	Hectárea
Área ocupada al año 2033	22.0	Hectárea
TRH	15 a 20	días
UASB-Digestor		
Carga superficial	0.24	kg DBO/m ² *día
Área ocupada actual	2.0	Hectárea
Área ocupada al año 2033	2.3	Hectárea
TRH	12 a 8	horas

7.6 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Después de 7 meses de operación del reactor UASB-digestor, la etapa 1 de arranque fue de suma importancia, ya que para ingresar a la etapa 2 ya se tenía los procedimientos de operación y mantenimiento tanto en el UASB y digestor (Ver fotografía N° 7.1), a continuación se detalla las tareas que se desarrolló. (Ver cuadro N° 7.6)



Fotografía N° 7.1: Limpieza de vertederos, deflector y separador de fases

Cuadro N° 7.12: Operación y mantenimiento de reactor UASB-digestor

Componentes reactor USAB-Digestor	Actividad	Importancia	Frecuencia
Tanque de almacenamiento	Limpieza de las paredes y base del tanque	Acumulación de sólidos, altera los resultados, para la medición de DQO, DBO ₅ del ingreso de agua residual	1 vez semana
Circuitos de manguera	Limpieza por acumulación de sólidos	Evitan los atoros por acumulación excesiva de sólidos.	1 vez a la semana
Limpieza de vertedero de UASB	Limpieza de la zona vertedero y separador de fases	Evitamos alteración de resultados, por acumulación de grasas.	2 veces a la semana
Limpieza de deflector	Limpiar la base del deflector, por acumulación de lodo fino	La acumulación excesiva provoca el deterioro del efluente	1 vez a la semana
Mezclar digestor	Girar el mezclador a 8rpm	Mantener el digestor en mezcla completa	90 giros cada 105 minutos
Mezclar el lodo de digestor	Con un tubo girar el manto de lodos del UASB	Evitar los espacios muertos generados por levantamiento de lodo	Cada vez que se presente, generalmente para caudal 172.8 L/día

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

1. El arranque y ajuste de operación del reactor UASB-Digestor duró 100 días, se operó 50 días con TRH (tiempo de retención hidráulico) de 14 horas, 20 días con TRH de 6 horas y 30 días con TRH de 8 horas, para el reactor UASB. En el digestor de lodos para los primeros 70 días fueron de acondicionamiento en recirculación de lodo, operando a TRH menores a un día, los siguientes 30 días se operó 20 días con TRH de 6.2 días, 10 días con TRH 9.3 días.
2. La caracterización de aguas residuales domésticas con tratamiento preliminar que fue tratado en la etapa 2 y etapa 3 por el reactor UASB-digestor tiene las siguientes características: DQO total [548-822mg/L]; DBO₅ [200-361mg/L]; turbiedad [289-493NTU]; sólidos suspendidos totales [351-522mg/L]; pH [7.63-8.07]; sólidos totales [1200-2300mg/L]; sólidos disueltos totales [900-1500mg/L]; sólidos volátiles totales [200-700mg/L]; sólidos sedimentables [1-3ml/L/h]; temperatura de agua residual doméstica promedio [12.2-16°C]; temperatura ambiental promedio [13.5-18°C]
3. El reactor UASB-Digestor fue operado con TRH de [4,6,8,10,12 y 14 horas], cada TRH se estudió por dos semanas, el digestor se operó con un TRH de 10 días a una temperatura de 25-35°C, el lodo en el digestor de lodos se inyecta al reactor UASB (3cm de altura de zona de digestión), con la finalidad de mejorar tasa de hidrólisis, la misma cantidad de lodo inyectado al reactor UASB se retorna(23 cm de altura de zona de digestión) al digestor de lodos para su aceleración de la tasa de hidrólisis. El lodo se recircula a 24ml/min a un período de operación de 15 minutos encendido y 165 minutos apagado, durante las 24 horas, en un día se bombea 8 veces.

4. El reactor UASB-Digestor como tratamiento primario de agua residual doméstica en localidades de altitud iguales a 3800msnm, caracterizado con climas de baja temperatura durante gran parte del año, en la etapa 2, la más óptima remoción de DQO total y DBO_5 se obtuvo en la semana 15 y 16, para un TRH de 12 horas para el reactor UASB y para el digestor un TRH de 10 días, una remoción de **52.3%** de DQO total y **57%** de remoción de DBO_5 .
5. La remoción de carga orgánica es en promedio **52.3%**, para un reactor UASB-Digestor para un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH para el digestor de lodos. Los resultados para reactor UASB-digestor permite tratar cargas orgánicas con TRH de 14, 12, 10, 8 horas en el reactor UASB, obteniendo remoción de carga orgánica igual ó superior al 50%.
6. La remoción promedio de DQO soluble es **4%**, siendo el mayor porcentaje removido la DQO coloidal y DQO suspendida **50.2%**, para un reactor UASB-Digestor con un diseño de 12 horas TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en el digestor de lodos.
7. La remoción promedio de turbiedad es de **79%**, para un reactor UASB-Digestor con un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en el digestor de lodos.
8. La remoción promedio de sólidos suspendidos es de **76%**, para un reactor UASB-Digestor con un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en un digestor de lodos.
9. La remoción promedio de sólidos totales es de **23%**, para un reactor UASB-Digestor con un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en un digestor de lodos.

10. La remoción promedio de sólidos disueltos totales es de **7%**, para un reactor UASB-Digestor para un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en un digestor de lodos.
11. La remoción promedio de sólidos volátiles totales es de **63%**, para un reactor UASB-Digestor con un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en un digestor de lodos.
12. La remoción de sólidos sedimentables es del **100%**, para un reactor UASB-Digestor con un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en un digestor de lodos. Solo para TRH de 4 horas existe baja remoción debido a la velocidad ascensional aplicada, sus consecuencias son la pérdida de lodo y calidad de efluente con alta turbiedad, en promedio 153 NTU, para la semana 23 y 24.
13. La producción de gas metano para el reactor UASB fue de 1179ml/día y para el digestor 961.2ml/día, para el reactor UASB-Digestor con un diseño de 12 horas de TRH para el reactor UASB y 10 días de TRH en un digestor de lodos, un balance de masas para la semana 15 y 16 muestra una producción de 30 litros de metano por 14 días. De acuerdo al balance de masas de la DQO total por cada 100 gramos de DQO de afluente, 35.7 gramos es eliminado de estos 25 gramos transformado a metano, 17 gramos en purga y acumulación de lodo, 47.3 gramos en el efluente, la producción de gas metano según este balance debió producirse en el reactor UASB-Digestor 84 litros de metano por los 14 días, por tanto existe gas metano que no se registro.
14. El crecimiento de biomasa (DQO lodo acumulado) del reactor UASB-Digestor es lento, debido a que el aumento de altura en manto de lodo para el reactor UASB es a consecuencia de la velocidad ascensional en un 96% del volumen incrementado, aplicado cada dos semanas, variando los TRH. Por tanto existe solo 11.31 ml de crecimiento de lodo por 14 días representa un aumento de volumen del 4% y un crecimiento de biomasa del 0.1%, para el balance de la semana 15 y 16(mejor diseño).

Durante toda la etapa 2 se purgo lodo del reactor UASB-Digestor, un volumen de 50ml de lodo en 3 meses. La calidad manto de lodo del reactor UASB tiene característica floculento al igual que el lodo en el digestor.

15. Se ensayó la etapa III (de la semana 25 y 26) para el reactor UASB un TRH de 12 horas, para el digestor de lodos se modificó la recirculación de lodos a una frecuencia de 1 hora encendido y 23 horas apagado, así el TRH es de 20 días para el digestor de lodos. Los resultados con la etapa 3 son: 51% DQO total, 72% turbiedad, 67% sólidos suspendidos totales, pero la producción de gas fue mejor para el reactor UASB 1372.8ml/día y el digestor de lodos 1528.8ml/día, se observó que el traslado de lodo se mejoró.
16. Respecto al digestor de lodos se analizo en función de la eficiencia de remoción de carga orgánica, luego de analizar los datos se optimizó para un TRH de **14.4 días**, el volumen de lodo acondicionado en el digestor de lodos a inyectarse por día es un **11% (1.54 litros/día)** del volumen de lodo del reactor UASB, el volumen final del digestor es un **76%(22 litros)** del volumen del reactor UASB.
17. La tecnología reactor UASB-Digestor busca ser una alternativa de tratamiento primario optimizado sostenible para remoción de carga orgánica y sólidos suspendidos totales. Adicionalmente nos impulsa a buscar tecnologías renovables. Después del análisis y discusión de datos es posible diseñar un reactor UASB-Digestor para localidades de altitud como Puno, localidades iguales a 3800msnm: para el UASB con TRH de **12 a 8 horas**, para el digestor de lodos con TRH de **14.4 días**, temperaturas de lodo en digestor de lodos de 25-35°C, operación de mezcla completa para el digestor de lodos, frecuencia de recirculación una vez al día, logró una remoción promedio de carga orgánica del **53%** y una carga superficial de **0.24 Kg DBO/m²*día**

18. La tecnología reactor UASB-Digestor de lodos como tratamiento primario tiene ventajas respecto al área en comparación con laguna de estabilización que opera como tratamiento primario, una proyección para el diseño para 20 años para una PTAR de la ciudad de Puno el reactor UASB-Digestor ocuparía solo 10% del área ocupada por una laguna estabilización.

CAPÍTULO 9

RECOMENDACIONES

1. Con los parámetros de diseño encontrados TRH 12 horas para el reactor UASB y 14.4 días para el digestor de lodos, respecto a la recirculación de lodo, la extracción de lodo a una altura de 23cm , es un 20% de la altura total en zona de digestión del reactor UASB, se introdujo lodo a una altura de 3cm, es un 2.5% de la altura total en zona de digestión del reactor UASB. Hace falta investigar el comportamiento cuando se extrae lodo a un 40% (48cm) y 60% (72cm) de altura en zona de digestión del reactor UASB, con este cambio de operación puede mejorar la eficiencia de remoción de carga orgánica y reducir el volumen del digestor de lodos 76%(22litros).
2. La construcción del reactor UASB-Digestor se recomienda construir enterrado a condiciones de efecto invernadero, con la finalidad de mantener una temperatura estable durante la noche y evitar los cambios brusco de temperatura, en Puno la temperatura llega a los 0°C.
3. La energía para calentar el lodo es recomendable usar el gas metano que se produce del reactor UASB y digestor de lodos, además de esta energía, es posible el aprovechamiento de la energía solar, eólica, termal. El departamento de Puno hay provincias que se pueden aprovechar las energías en mención, la solar en todos lugares, la eólica en Juliaca y la termal en Putina. Siempre con el enfoque de utilizar energía de la naturaleza.
4. Las técnicas de recolección de biogás y su cuantificación es de importancia para el balance de masas de la DQO y sustento de energía para calentar el digestor de lodos, por tanto se recomienda utilizar recolectores y medidores de gas metano con equipo especializado para su cuantificación exacta.

5. Es muy importante un diseño de tratamiento preliminar efectivo, ya que los sólidos sedimentables que ingresan al reactor UASB debe ser lo más bajo posible recomendable menor a 1ml/L/h. Para evitar acumulación de partículas que provoquen zonas muertas.
6. La limpieza de la zona de salida del reactor UASB es de importancia para evitar acumulación de natas, en caso de reactores a escala piloto la limpieza se hace 2 veces a la semana.
7. Para los ensayos de laboratorio, deben aplicarse antes de la etapa de arranque para evitar cometer errores en la etapa de evaluación.
8. Para el monitoreo semanal el agua residual cargada al tanque debe estar mínimo con 30 horas de anticipación alimentando al reactor UASB.
9. El control de temperatura del digestor es una operación diaria a medir para asegurar el desarrollo de bacterias hidrolíticas, así como el desarrollo de las metanobacterias.
10. Es muy importante mezclar el digestor por períodos para mantener en mezcla completa, es mejor si se automatiza, para evitar que en las noches sedimente.
11. La automatización de componentes en tratamiento de aguas residuales a escala piloto es de importancia, para representar el experimento lo más real posible.
12. Dentro de las recomendaciones para futuras investigaciones en resumen se tiene:
 - La altura de recirculación de lodo en reactor UASB al digestor, para la investigación hecha se extrajo lodo a una altura de 23cm , es un 20% de

la altura total de zona de digestión del reactor UASB y se introdujo lodo a una altura de 3cm, es un 2.5% de la altura total de la zona de digestión. Hace falta investigar el comportamiento cuando se extrae lodo a un 40% (48cm) y 60% (72cm) de altura de la zona de digestión.

- Con los parámetros de diseño encontrados para el reactor UASB-digestor (Ver cuadro N° 7.9) proyectar un diseño a escala más grande, puede ser para un caudal de 5 l/s. Proyectando a este caudal cuantificar la producción real de gas metano del reactor UASB-Digestor como sustento de energía para su calentamiento.
- Desarrollar tecnología para el calentamiento solar para el digestor de lodos por ser energía renovable.
- El volumen del digestor calculado en esta investigación representa un 76% del volumen total del reactor UASB, con las recomendaciones mencionadas en los puntos anteriores reducir este volumen a un 50%. De comprobar el aporte en un menor porcentaje del digestor de lodos al reactor UASB a la remoción de carga orgánica, debe diseñarse sin el digestor con los parámetros ya encontrados para el reactor UASB. (Ver cuadro N° 7.9)

CAPÍTULO 10**BIBLIOGRAFÍA****A) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ✓ Philippe Conil, **La tecnología anaerobia UASB en el tratamiento de las aguas residuales domesticas: 10 años de desarrollo y maduración en america latina**, 2011
- ✓ Zeeman G. and Lettinga G., **The role of anaerobic digestion in closing the water and nutrient cycle at community level**,1999
- ✓ Ruiz I.; Soto M.; Ligeró P.; de Vega A.; Veiga M.C. y Blázquez R. (1998). **"Performance and biomass characterisation of am UASB digester treating domestic wastewaters at ambient temperature"**.1998
- ✓ Haandel, A. C. van and Lettinga, G. **Anaerobic Sewage Treatment. A Practical Guide for Regions with a Hot Climate**. John Wiley and Sons, New York, 1994
- ✓ Lettinga G., Rebac S. and Zeeman G. , **Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment**. 2001
- ✓ Nidal Mahmoud, **Anaerobic pre-treatment of sewage under low temperature (15 °C) conditions in an integrated UASB-Digester system**, Ph.D. Tesis , 2002.
- ✓ Juan Antonio Álvarez, **Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas en planta piloto**, Dr. Tesis 2003.
- ✓ Nidal Mahmoud, Grietje Zeeman, Jules B. van Lier, Gatzke Lettinga, **Modifying a Conventional UASB Reactor to an Integrated UASB-**

Digester System for Sewage Pre- Treatment in Mountain Areas at Low Temperatures (15°C),2011

- ✓ Nidal Mahmoud, **High strength sewage treatment in a UASB reactor and an integrated UASB-digester system**, 2007
- ✓ Elmitwalli T. A., **Anaerobic treatment of domestic sewage at low temperature. Ph.D. thesis, Department of Environmental Technology, Wageningen, The Netherlands. 2000**
- ✓ MINAM-SINIA. **Manual de municipios ecoeficientes**,2009
- ✓ CITEM, **Tratamiento avanzado de aguas residuales industriales** ,2009
- ✓ Ramón Espinoza, **Planta de tratamiento San Juan de Miraflores**,2010
- ✓ Enrique Valdez, **Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales**, 2003
- ✓ Antonio Álvarez, **Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas en planta piloto**,2003
- ✓ Brock, **Biología de los microorganismos-10edición**, 2004
- ✓ SUNASS, **Diagnostico situacional de los sistemas de tratamiento de agua residual en las EPS del Perú y propuesta de solución**,2008
- ✓ ANA, **Mejora de la gestión de la calidad de agua en las cuencas piloto**,2011
- ✓ G. Zeemam H. Temmink, **Sludge transfer point of a UASB-digester system: key to efficient low temperature anaerobic sewage treatment**,2009
- ✓ MINAM, **Plan ecoeficiente para el tratamiento de aguas residuales zona centro y sur**, 2010

- ✓ Raymond Chang, **QUIMICA, Mc Graw Hill , Septima Edición**, 2002.
- ✓ Métodos Normalizados para análisis de aguas potables y residuales, Apha, Awwa, Wpcf. 17 Edición, 1989.
- ✓ Rosa Elena Yaya Beas, **Reactores Anaerobios-Clase N° 10 de Tratamiento de Desagües UNI-Ingeniería Sanitaria**, ciclo 2011-II
- ✓ Enrique Jimeno Blasco (1998), **Análisis de Aguas y Desagües**, 2da. Edición, Lima, Perú.
- ✓ Leonor Carmen Méndez Quincho, **Estudio de la calidad del agua de la bahía interior de Puno**, 1999
- ✓ **NORMA OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones aprobada mediante Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA**, 2006.
- ✓ Álvaro Orozco Jaramillo, **Bioingeniería de aguas residuales**, 2003
- ✓ Carlos Álvarez Jara, **Plan de gestión ecoeficiente para el tratamiento de aguas residuales zona centro y sur**, 2010

B) REFERENCIAS DE PAGINAS WEB

- ✓ <http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/266/1/Tesis-IC007-M53.pdf>, **2007**
- ✓ <http://www.ingenieroambiental.com/4014/arranque.pdf> , 2002
- ✓ http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos/Salud,%20Calidad%20y%20Tratamiento%20de%20AR/TRATAMIENTO%20ANAEROBIO%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20BASICO.pdf, 2008
- ✓ <http://www.dnp.gov.co/Portals/0/archivos/documentos/GCRP/Presentaciones/Ampliacion%20y%20Modernizacion%20Planta%20de%20Tratamiento%20de%20Aguas%20Residuales%20R%20C%20A%20Fr%20C%20A.pdf>,2009, Ludwing Uribe-PTAR-UASB Rio frio Bucaramanga Colombia
- ✓ EMSAPA YAULI 2008, SEDA JULIACA 2007, EMAPA PASCO S.A. 2008, EMPSSAPAL S.A. 2008, EPS AGUAS DEL ALTIPLANO S.R.L,2009 <http://www.sunass.gob.pe/pmo.php>.

CAPÍTULO 11

ANEXOS

11.1 ANEXO N° 1: MARCO LEGAL

A) CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERU**Artículo 66° y 68°**

Los recursos naturales y renovables y no renovables son patrimonio de la nación. El estado es soberano en su aprovechamiento y es quien fija las condiciones de su utilización; determina la política nacional del ambiente y está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

B) LEY DE REFORMA SOBRE LA DESCENTRALIZACION: LEY N° 27680**Artículo 192° y 195°**

Los gobiernos regionales promueven el desarrollo, fomentan los servicios públicos de su responsabilidad en armonía con políticas y planes nacionales y locales de desarrollo. Tiene competencia para promover y regular actividades y/o servicios en materia de agricultura, **saneamiento**, salud y medio ambiente conforme a ley. Además, tiene competencia para organizar, reglamentar y administrar los servicios públicos locales de su responsabilidad.

C) LEY GENERAL DE LA SALUD**Artículo 96° y 104°**

Los residuos procedentes de establecimientos donde se manipulen sustancias o productos peligrosos, deben ser sometidos a **tratamiento** y disposición que señalan las normas correspondientes. Estos residuos no deben ser vertidos directamente a fuentes, cursos o reservorios de agua, bajo responsabilidad.

Toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos ó sustancias contaminantes en el agua, aire, suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del medio ambiente.

D) LEY GENERAL DEL AMBIENTE: LEY N° 28611**Artículo 29° De las normas transitorias de calidad ambiental de carácter especial.**

La autoridad ambiental nacional en coordinación con sus autoridades competentes, pueden dictar las normas ambientales transitorias, de aplicación específica en zonas ambientalmente críticas o afectadas por desastres, con el propósito de contribuir a su recuperación o superar las situaciones de emergencia. Su establecimiento, no excluye la aprobación de otras normas, parámetros, guías o directrices, orientados a prevenir el deterioro ambiental, proteger la salud o la conservación de los recursos naturales y la diversidad biológica y no altera vigencia de los ECA y LMP que sean aplicables.

Artículo 31° Del estándar de calidad ambiental

El estándar de calidad ambiental-ECA, es la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos, biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos. Es obligatorio en el diseño de normas legales y políticas públicas.

Artículo 32° Del límite máximo permisible

El límite máximo permisible (LMP), es la medida de la concentración del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generados que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no exceda la capacidad de carga de los ecosistemas.

Artículo 120° De la protección de la calidad de aguas

El estado, a través de las entidades señaladas en la ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país; promueve el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reusó, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

Artículo 121° Del vertimiento de aguas residuales

El estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas domésticas, industriales o cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de aguas como cuerpo receptor, ni que se afecte la reutilización para otros fines, de acuerdo a los establecido en los estándares de calidad ambiental correspondientes y normas legales vigentes.

Artículo 122° Del tratamiento de residuos líquidos

Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos

en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

E) ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA : DECRETO SUPREMO N° 002-2008 MINAM

El ministerio del ambiente dictará las normas para la implementación de los estándares de calidad ambiental para el agua, como instrumentos de gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso.(Ver cuadro N° 11.1)

F) DISPOSICIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ECA PARA AGUA : DECRETO SUPREMO N° 023-2009 MINAM

Artículos 2° y 7°

Aprueban disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua. A partir del 01 de abril del 2010. Y hacen referencia a que precisa cada categoría de los ECA para agua. Así como cuáles son los cuerpos de agua que e encuentran exceptuados de la aplicación de los ECA.

G) LIMITES MAXIMO PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR DOMESTICAS O MUNICIPALES: DECRETO SUPREMO N° 003-2010 MINAM

Artículo 1 °

Con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en los efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente, el Ministerio del Ambiente público en el diario el peruano el decreto supremo N° 003-2010.MINAM, por el cual se aprueban los limites máximo permisibles (LMP) para los efluentes de tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales (PTAR) (Ver cuadro N° 11.2)

Artículo 3°

Sobre el cumplimiento de los LMP de efluentes de PTAR, sostiene que estos niveles (LMP) no se aplicará a las PTAR que cuenten con un tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario con disposición final a través de emisario submarino.

Cuadro N° 11.1: ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL - CATEGORIA 3
CATEGORIA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Niquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO		
PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Paratión	ug/L	7,5

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES

PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARAMETROS	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
Biologicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente

PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES		
PARAMETROS	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	≤5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	≤15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruro	mg/L	2
Nitratos-(NO3-N)	mg/L	50
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5
pH	Unidades de pH	6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,1
Berilio	mg/L	0,1
Boro	mg/L	5
Cadmio	mg/L	0,01
Cianuro WAD	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	1
Cobre	mg/L	0,5
Cromo (6+)	mg/L	1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	24
Orgánicos		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
Plaguicidas		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	1
Dieldrin (N° CAS 72-20-6)	ug/L	0,7
Endosulfán	ug/L	0,02

Cuadro N° 11.2: Límites máximo permisibles para efluentes de una PTAR

PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100	100000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

**H) LEY MARCO PARA EL CRECIMIENTO DE LA INVERSIÓN PRIVADA:
DECRETO LEGISLATIVO N° 757**

Garantiza la libre iniciativa y las inversiones privadas de todos los sectores de la actividad económica y en cualquiera de las formas empresariales o contractuales permitidas por la constitución y las leyes.

Artículo 53° y 55°

Las EPS deberán contar con la correspondiente certificación de que cumplen con las normas de calidad físico-químico y bacteriológico del agua potable y las condiciones de tratamiento de desagües para su disposición final. Los directores de dichas empresas, en caso de que las mismas no cuenten con los certificados de calidad con la periodicidad requerida por el ministerio de salud, incurrirán en el delito previsto en el artículo 305 del código penal.

I) LEY ORGANICA DE GOBIERNOS REGIONALES: LEY N° 27902

Dentro de las funciones específicas de los gobiernos regionales está el de formular, aprobar, ejecutar, dirigir, controlar y administrar los planes y políticas en materia ambiental y de ordenamiento territorial, implementando el sistema de gestión ambiental en coordinación con las comisiones ambientales regionales.

J) LEY ORGANICA DE MUNICIPALIDADES: LEY N° 27972

Artículo 80° Saneamiento, salubridad y salud

Las municipalidades en materia de saneamiento, salubridad y salud, tienen que ejercer las siguientes funciones. Función específicas exclusivas de las municipalidades provinciales.

Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. Funciones compartidas de las municipalidades provinciales: Administrar y reglamentar directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado, cuando por economías de escala resulte eficiente centralizar providencialmente el servicio.

Artículo 141° Competencias adicionales

Las municipales rurales, además de las competencias básicas, tienen a cargo aquellas relacionadas con la promoción de la gestión sostenible de los recursos naturales: suelo, agua, flora, fauna, biodiversidad, con la finalidad de luchar contra la degradación ambiental.

**K) LEY DE CREACIÓN ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES DEL MINAM:
DECRETO LEGISLATIVO N° 1013**

Artículo 1° Finalidad de ley

Mediante esta ley se crea Ministerio del Ambiente, establece su ámbito de competencia y regular su estructura orgánica y sus funciones.

Artículo 3° Objeto y objetivos específicos del Ministerio del Ambiente

El objeto del Ministerio del Ambiente es la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, y así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida.

Artículo 6° Funciones generales

b) Garantizar el cumplimiento de las normas ambientales, realizando funciones de fiscalización, supervisión, evaluación y control, así como ejercer la potestad sancinatoria en materia de su competencia y dirigir el régimen de fiscalización y control ambiental y el régimen de incentivos previstos por la ley N° 28611, ley general del ambiente.

Artículo 7° Funciones específicas

d) Elaborar los estándares de calidad ambiental (ECA) y límites máximos permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo.

e) Aprobar los lineamientos, metodologías, los procesos y planes para la aplicación de los estándares de calidad ambiental (ECA) y límites máximos permisibles (LMP) en los diversos niveles de gobierno.

L) LEY DE RECURSOS HIDRICOS: LEY N° 29338 (2010)

DECRETO SUPREMO N° 001-2010-AG

Título I: Disposiciones generales

Artículo 1° Objeto y ámbito de aplicación

1.1 El Reglamento tiene por objeto regular el uso y gestión de los recursos hídricos que comprenden al agua continental: superficial y subterránea, y los bienes asociados a esta; asimismo, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, todo ello con arreglo a las disposiciones contenidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338.

Artículo 2° Domino de aguas

2.1 El agua es un recurso natural renovable, vulnerable, indispensable para la vida, insumo fundamental para las actividades humanas, estratégica para el desarrollo sostenible del país, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan y la seguridad de la Nación.

Artículo 6° Gestión integrada de recursos hídricos

La gestión integrada de los recursos hídricos es un proceso que promueve, en el ámbito de la cuenca hidrográfica, el manejo y desarrollo coordinado del uso y aprovechamiento multisectorial del agua con los recursos naturales vinculados a esta, orientado a lograr el desarrollo sostenible del país sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas.

Título II: Sistema nacional de gestión de los recurso hídricos

Capítulo II: Roles de los integrantes del sistema

Artículo 11° La Autoridad Nacional del Agua

La Autoridad Nacional del Agua es el ente rector del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, responsable de su funcionamiento; desarrolla, dirige, ejecuta y supervisa la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos; dicta normas y establece procedimientos para la gestión integrada y multisectorial de recursos hídricos por cuencas hidrográficas y acuíferos; coordina acciones en materia de recursos hídricos con los integrantes de dicho sistema, quienes participan y asumen compromisos, en el marco de la Ley y el Reglamento.

Artículo 12° El Ministerio del Ambiente

El Ministerio del Ambiente, desarrolla, dirige, supervisa y ejecuta la Política Nacional del Ambiente y es el ente rector del Sistema Nacional de Gestión Ambiental en cuyo marco se elabora la Política y Estrategia Nacional de Recursos Hídricos así como el Plan Nacional de Recursos Hídricos.

Artículo 13° Rol multisectorial del Ministerio de Agricultura

El Ministerio de Agricultura, por ser el sector al cual está adscrita la Autoridad Nacional del Agua, es el ente a través del cual se dictan los decretos supremos, a propuesta de dicha autoridad, para normar la gestión integrada y multisectorial de recursos hídricos, conforme con las disposiciones de la Ley.

Artículo 14° Otros ministerios

Los ministerios de Vivienda Construcción y Saneamiento, de Salud, de Producción y de Energía y Minas y de Agricultura que intervienen en el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, ejercen función normativa, de las actividades sectoriales, que encontrándose dentro de sus ámbitos de competencia están relacionadas con la gestión de recursos hídricos, observando las disposiciones de la Ley, el Reglamento y las que emita la Autoridad Nacional del Agua en el ámbito de su competencia.

Capítulo VIII: Niveles de gestión de recursos hídricos**Artículo 45° Gestión de recursos hídricos en fuentes naturales y en infraestructura hidráulica de uso multisectorial**

45.3 Las entidades públicas que intervienen en la gestión de los recursos hídricos en las fuentes naturales, mediante actividades específicas de su sector, son las siguientes:

- a. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrológica del Ministerio del Ambiente.
- b. La Dirección de Capitanías y Guardacostas del Ministerio de Defensa
- c. La Oficina de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA, del Ministerio del Ambiente.

Título III: uso de los recursos hídricos**Capítulo I: Disposiciones generales****Artículo 45° Condiciones para otorgar el uso de las aguas**

El uso de las aguas se encuentra sujeto a las condiciones siguientes:

- a. Está condicionado a las necesidades reales del objeto al cual se destinan y a las fluctuaciones de las disponibilidades de agua, originadas por causas naturales y por la aplicación de la Ley y el Reglamento.

b. Deben ejercerse de manera eficiente, evitando la afectación de su calidad y de las condiciones naturales de su entorno y respetándose los usos primarios y derechos de uso de agua otorgados.

Capítulo II: Uso primario del Agua

Artículo 56° Uso primario del agua

56.1 El uso primario a que se refiere la Ley es libre y gratuito; no requiere de licencia, permiso o autorización de uso de agua. Se limita a la utilización manual de las aguas superficiales y subterráneas que afloran naturalmente, mientras se encuentren en sus fuentes naturales o artificiales, con el fin exclusivo de satisfacer las necesidades humanas primarias siguientes: preparación de alimentos, consumo directo, aseo personal, así como usos en ceremonias culturales, religiosas y rituales.

Capítulo III: Uso poblacional del Agua

Artículo 58° Uso poblacional del agua

58.1 El uso poblacional consiste en la extracción del agua de una fuente a través de un sistema de captación, tratamiento y distribución, con el fin de satisfacer las necesidades humanas básicas: preparación de alimentos y hábitos de aseo personal.

Artículo 59° Otorgamiento de licencias de usos de agua con fines poblacionales.

La licencia de uso de agua con fines poblacionales se otorga a las entidades encargadas del suministro de agua poblacional, las que son responsables de implementar, operar y mantener los sistemas de abastecimiento de agua potable en condiciones que garanticen la calidad adecuada del agua para el uso poblacional y la eficiente prestación del servicio. Estas entidades están sujetas a la regulación, supervisión y fiscalización de la autoridad competente según corresponda.

Capítulo IV: Uso productivo del agua

Artículo 62° Orden de preferencia para el otorgamiento de uso productivo del agua.

62.1 El orden de preferencia para el otorgamiento de agua para usos productivos, en caso de concurrencia de solicitudes, es el siguiente:

- a) Agrario, acuícola y pesquero.
- b) Energético, industrial, medicinal y minero.
- c) Recreativo, turístico y transporte.

d) Otros usos.

Título IV: Derechos de uso de agua

Capítulo IV: Permisos de usos de agua

Artículo 88° Permiso de uso de aguas residuales

88.1 Para efectos de lo establecido en el artículo 59° de la Ley, entiéndase como aguas residuales a las aguas superficiales de retorno, drenaje, filtraciones resultantes del ejercicio del derecho de los titulares de licencias de uso de agua. La Autoridad Nacional del Agua, a través de sus órganos desconcentrados, otorga permisos que facultan el uso de estas aguas por plazo indeterminado.

88.2 La variación de la cantidad u oportunidad, o la extinción de las aguas de retorno, drenaje o filtraciones, no ocasiona responsabilidad alguna a la Autoridad Nacional del Agua ni al titular de la licencia de uso de agua que generan estas aguas, con relación al titular de un permiso de uso sobre aguas residuales.

Título V: Protección del agua

Capítulo I: Disposiciones generales

Artículo 103° Protección del agua

103.1 La protección del agua tiene por finalidad prevenir el deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de sus fuentes naturales y los ecosistemas acuáticos; establecer medidas específicas para eliminar o reducir progresivamente los factores que generan su contaminación y degradación.

103.2 La Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente, Ministerio de Salud y demás sectores cuando corresponda, emite disposiciones, directivas y normas complementarias al Reglamento, para la conservación y protección de la calidad de las aguas.

Artículo 104° Registro para la disposición de aguas residuales

La Autoridad Nacional del Agua implementa y mantiene actualizado el Registro Nacional de Vertimientos y Reuso de Aguas Residuales.

Capítulo II: Clasificación de los cuerpos de agua

Artículo 106°

106.1 Los cuerpos naturales de agua se clasifican en función a sus características naturales y los usos a los que se destinan.

106.2 La Autoridad Nacional del Agua clasifica los cuerpos de agua, tomando como base la implementación progresiva de los Estándares Nacionales de

Calidad Ambiental para el Agua (ECA – Agua), que apruebe el Ministerio del Ambiente de acuerdo con los usos actuales y potenciales al que se destina el agua.

Capítulo III: Cauces, Riberas y fajas marginales

Artículo 113° Fajas marginales

113.1 Las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico. Están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales.

113.2 Las dimensiones en una o ambos márgenes de un cuerpo de agua son fijadas por la Autoridad Administrativa del Agua, de acuerdo con los criterios establecidos en el Reglamento, respetando los usos y costumbres establecidos.

Capítulo IV: Vertimientos de agua residuales tratadas

Artículo 131° Aguas residuales y vertimientos

Para efectos del Título V de la Ley se entiende por:

- a. Aguas residuales, aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo.
- b. Vertimiento de aguas residuales, es la descarga de aguas residuales previamente tratadas, en un cuerpo natural de agua continental o marítima. Se excluye las provenientes de naves y artefactos navales.

Artículo 132° Aguas residuales domésticas y municipales

132.1 Las aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

132.2 Las aguas residuales municipales son aquellas aguas residuales domésticas que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Artículo 133° Condiciones para autorizar el vertimiento de aguas residuales tratadas

133.1 La Autoridad Nacional del Agua podrá autorizar el vertimiento de aguas residuales únicamente cuando:

- a. Las aguas residuales sean sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles – LMP.

- b. No se transgredan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, ECA - Agua en el cuerpo receptor, según las disposiciones que dicte el Ministerio del Ambiente para su implementación.
- c. Las condiciones del cuerpo receptor permitan los procesos naturales de purificación.
- d. No se cause perjuicio a otro uso en cantidad o calidad del agua.
- e. No se afecte la conservación del ambiente acuático.
- f. Se cuente con el instrumento ambiental aprobado por la autoridad ambiental sectorial competente.
- g. Su lanzamiento submarino o subacuático, con tratamiento previo, no cause perjuicio al ecosistema y otras actividades lacustre, fluviales o marino costeras, según corresponda.

133.2 La Autoridad Nacional del Agua, dictará las disposiciones complementarias sobre características de los tratamientos y otras necesarias para el cumplimiento de la presente disposición.

Artículo 134º Contenido del instrumento ambiental

El instrumento ambiental a que se refiere el artículo 80º de la Ley, debe contemplar el sistema de tratamiento de aguas residuales y el efecto del vertimiento en el cuerpo receptor.

Artículo 135º Prohibición de efectuar vertimientos sin previa autorización

135.1 Ningún vertimiento de aguas residuales podrá ser efectuado en las aguas marítimas o continentales del país, sin la autorización de la Autoridad Nacional del Agua.

135.2 En ningún caso se podrá efectuar vertimientos de aguas residuales sin previo tratamiento en infraestructura de regadío, sistemas de drenaje pluvial ni en los lechos de quebrada seca.

Artículo 136º Medición y control de vertimientos

Es responsabilidad del administrado instalar sistemas de medición de caudales de agua residual tratada y reportar los resultados de la medición.

Artículo 137º Otorgamiento de autorizaciones de vertimientos de aguas residuales tratadas

137.1 La Autoridad Nacional del Agua otorga autorizaciones de vertimientos de aguas residuales tratadas con las opiniones previas técnicas favorables de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud y de la autoridad ambiental sectorial competente de acuerdo al procedimiento que, para tal efecto, establece dicha Autoridad.

137.2 Los requisitos generales para el otorgamiento de la autorización de vertimiento a un cuerpo natural de agua continental o marina son:

- a) Ficha de registro del sistema de tratamiento de aguas residuales, otorgada por la Autoridad Nacional del Agua.
- b) Memoria Descriptiva del proceso industrial que contenga Diagrama de Flujo, Balance Hídrico Anual, Balance de Materia Prima e Insumos.
- c) Memoria Descriptiva del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- d) copia de los planos del sistema de tratamiento de aguas residuales, firmado **por Ingeniero Sanitario**, Civil o Ambiental colegiado y habilitado.
- e) Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de tratamiento, firmado por el profesional responsable colegiado y habilitado.
- f) El instrumento de gestión ambiental que comprenda la evaluación del efecto del vertimiento en el cuerpo receptor.
- g) Caracterización de las aguas residuales a verter y del cuerpo receptor.
- h) Pago por derecho de trámite.

137.3 La Autoridad Nacional del Agua, dictará las disposiciones necesarias para el cumplimiento de la presente disposición, así como para los supuestos de modificaciones y prórrogas de autorizaciones de vertimiento.

Artículo 138º Opinión técnica de la autoridad ambiental sectorial

La opinión técnica de la autoridad ambiental sectorial se expresa mediante la certificación ambiental correspondiente que comprenda al sistema de tratamiento de aguas residuales y el efecto del vertimiento en el cuerpo receptor.

Artículo 139º Evaluación de las solicitudes para autorizar vertimientos de aguas residuales tratadas

Las solicitudes de autorización de vertimientos de aguas residuales tratadas serán evaluadas tomando como referencia las opiniones favorables establecidas en el artículo 79º de la Ley, respecto al cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y la implementación progresiva de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA – Agua) en el cuerpo receptor aprobada por el Ministerio del Ambiente.

Artículo 140º Plazo de autorización de vertimientos de aguas residuales tratadas

140.1 El plazo de vigencia de las resoluciones de autorización de vertimientos de aguas residuales tratadas, se establece en función de las características del proyecto y no podrá ser menor de dos (02) años ni mayor de seis (06) años. Dicho plazo rige a partir del inicio de operaciones de los respectivos proyectos.

140.2 La prórroga del plazo otorgado se efectúa previa evaluación del cumplimiento de las disposiciones del Reglamento y las contenidas en la respectiva resolución de autorización.

Artículo 141º Aguas de inyección y reinyección

Las aguas de inyección para disposición final de confinamiento deben contar con autorización para vertimientos conforme con las disposiciones del Reglamento, estando exentos de pago de retribución. Las aguas de reinyección correspondientes a las labores de extracción de hidrocarburos no requieren de esta autorización.

Artículo 142º Extinción de las autorizaciones de vertimiento

Son causales de extinción de las autorizaciones de vertimiento de aguas residuales tratadas:

- a. Renuncia del titular.
- b. Caducidad.
- c. Nulidad del acto administrativo que la otorgó.
- d. Revocación.
- e. Resolución judicial consentida o ejecutoriada que disponga la extinción de la autorización.

Artículo 143º Caducidad de las autorizaciones de vertimiento

Son causales de caducidad de las autorizaciones de vertimiento de aguas residuales tratadas:

- a. Vencimiento del plazo establecido en la autorización.
- b. Término de la actividad que origina el vertimiento.
- c. El no iniciar el proyecto dentro de un plazo igual al de la autorización.

Artículo 144º Causales de revocatoria de las autorizaciones de vertimiento

144.1 Son causales de revocatoria de las autorizaciones de vertimiento de aguas residuales tratadas:

- a. La falta de pago de la retribución económica durante dos años continuos.
- b. El incumplimiento de las condiciones establecidas en la autorización de vertimiento.
- c. El incumplimiento del Programa de Adecuación y Manejo Ambiental o de las obligaciones del Programa de Adecuación de Vertimientos.
- d. La no implementación del instrumento ambiental aprobado en lo que corresponde al sistema de tratamiento y su vertimiento

144.2 Sin perjuicio de las acciones que resulten necesarias en aplicación del principio precautorio, la declaratoria de revocatoria debe seguir previamente el procedimiento sancionador.

Artículo 145º Control de vertimientos autorizados

El control de los vertimientos que ejecuta la Autoridad Administrativa del Agua incluye visitas inopinadas a los titulares de las autorizaciones de vertimientos, a fin de cautelar la protección de la calidad de las aguas y verificar el cumplimiento de las condiciones establecidas en la autorización de vertimiento.

Artículo 146º Vertimientos en sistemas de drenaje urbano o alcantarillado

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.

Capítulo VII: Reuso de aguas residuales tratadas**Artículo 147º Reuso de agua residual**

Para efectos del Reglamento se entiende por reuso de agua residual a la utilización, de aguas residuales tratadas resultantes de las actividades antropogénicas.

Artículo 148º Autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas

Podrá autorizarse el reuso de aguas residuales únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones que se detallan a continuación:

- a. Sean sometidos a los tratamientos previos y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales, cuando corresponda.
- b. Cuenten con la certificación ambiental otorgada por la autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de reuso de las aguas.
- c. En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.

Artículo 149º Procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas

149.1 La Autoridad Nacional del Agua establece los requisitos y aprueba el procedimiento para el otorgamiento de autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas.

149.2 El titular de un derecho de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgado su derecho. Para actividades distintas requiere autorización de reuso de agua residual tratada.

149.3. Se podrá autorizar el reuso de aguas residuales tratadas a una persona distinta al titular del sistema de tratamiento, para este caso el solicitante presentará la conformidad de interconexión de la infraestructura para el reuso otorgado por el citado titular, además de los requisitos que la Autoridad Nacional del Agua establezca.

Artículo 150º Criterios para evaluar la calidad del agua para reuso

Las solicitudes de autorización de reuso de aguas residuales tratadas serán evaluadas tomándose en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reuso del agua o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de la Salud.

Artículo 151º Plazo de vigencia de las autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas

151.1 El plazo de vigencia de las resoluciones de autorización de reuso se establece en función de las características del proyecto y no podrá ser menor de dos (02) años ni mayor de seis (06) años. Dicho plazo rige a partir del inicio de operaciones de los respectivos proyectos.

151.2 La prórroga del plazo otorgado se efectúa previa evaluación del cumplimiento de las disposiciones del Reglamento y de las contenidas en la resolución de autorización.

Artículo 152º Del control del reuso de las aguas residuales tratadas

El control y vigilancia del reuso de las aguas residuales tratadas así como la frecuencia de toma de muestras y análisis es responsabilidad de la Autoridad Administrativa del Agua.

Título VI: Régimen económico del uso de agua**Capítulo III: Retribuciones económicas por vertimiento de agua residual tratada.****Artículo 180º**

180.1 La retribución económica por vertimiento de agua residual tratada, es la contraprestación económica, que no constituye tributo, que los usuarios deben pagar por efectuar un vertimiento autorizado en un cuerpo receptor.

180.2 La Autoridad Nacional del Agua establece la metodología para determinar el valor de las retribuciones económicas por el vertimiento de aguas residuales tratadas. La metodología se aprueba por Resolución Jefatural de la Autoridad Nacional del Agua y se publica en el portal electrónico de dicha autoridad.

Artículo 181º Formalidad de la aprobación del valor de las retribuciones económicas por vertimientos de aguas residuales tratadas

La Autoridad Nacional del Agua determina anualmente, el valor de las retribuciones económicas por el vertimiento de aguas residuales tratadas en los cuerpos naturales de agua, el cual es aprobado mediante Decreto Supremo refrendado por el Ministro de Agricultura.

Artículo 182º.- Forma de pago de la retribución económica por vertimientos de aguas residuales tratadas

182.1. Las retribuciones económicas se liquidarán anualmente y de forma adelantada, en función a la calidad y volumen del vertimiento y costos de recuperación de la fuente de agua afectada.

182.2. La forma y los plazos en que los usuarios deberán abonar las retribuciones económicas serán regulados por la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Jefatural.

Artículo 183º Destino de las retribuciones económicas por vertimiento de uso de agua residual tratada

Las retribuciones económicas por vertimiento de aguas residuales tratadas en fuentes naturales de agua son destinadas para monitorear, prevenir, controlar y remediar los daños ambientales en cuanto se refiere a la afectación de la calidad del agua y los bienes asociados a esta en el ámbito de la cuenca respectiva.

Artículo 184º Retribuciones económicas y sanciones por incumplimiento a la Ley

Las retribuciones económicas se aplicarán a los vertimientos autorizados, sin perjuicio de las sanciones que resulten aplicables a quienes no cumplan con las condiciones señaladas en las autorizaciones correspondientes. No sustituye el cumplimiento de lo dispuesto en la Ley y otras normas referidas a la protección y conservación del agua.

Título XII: De las infracciones y sanciones

Capítulo I: disposiciones generales

Artículo 278º Calificación de las infracciones

278.1 Las acciones u omisiones de las personas naturales o jurídicas, sean o no usuarios de agua, tipificadas por el artículo precedente como infracciones, serán calificadas por la Autoridad Administrativa del Agua como leves, graves o muy graves

278.2 Para la calificación de las infracciones, la Autoridad Administrativa del Agua aplicará el Principio de Razonabilidad establecido en el numeral 3) del artículo 230º de la Ley del Procedimiento Administrativo General – Ley N° 27444, y tomará en consideración los siguientes criterios específicos:

- a. La afectación o riesgo a la salud de la población.
- b. Los beneficios económicos obtenidos por el infractor.
- c. La gravedad de los daños generados.
- d. Las circunstancias de la comisión de la conducta sancionable o infracción.
- e. Los impactos ambientales negativos, de acuerdo con la legislación vigente.
- f. Reincidencia.

g. Los costos en que incurra el Estado para atender los daños generados. 278.3

No podrán ser calificadas como infracciones leves las siguientes:

- a. Usar, represar o desviar las aguas sin el correspondiente derecho de uso de agua o autorización de la Autoridad Nacional del Agua.
- b. Construir o modificar, sin autorización de la Autoridad Nacional del Agua, obras en las fuentes naturales de agua, los bienes naturales asociados a ésta o en la Infraestructura hidráulica mayor pública.
- c. Contaminar las fuentes naturales de agua cualquiera fuese la situación o circunstancia que lo genere.
- d. Efectuar vertimiento de aguas residuales en los cuerpos de agua o reuso de aguas provenientes de fuentes terrestres, sin autorización.
- e. Arrojar residuos sólidos en cauces o cuerpos de agua natural o artificial.

Artículo 279º Sanciones aplicables

279.1 Las conductas sancionables o infracciones calificadas como leves darán lugar a una sanción administrativa de amonestación escrita, o de multa no menor de cero coma cinco (0,5) UIT ni mayor de dos (02) UIT.

279.2 Las conductas sancionables o infracciones calificadas como graves darán lugar a una sanción administrativa de multa mayor de dos (02) UIT y menor de cinco (05) UIT.

279.3 Las conductas sancionables o infracciones muy graves darán lugar a una sanción administrativa de multa mayor de cinco (05) UIT hasta diez mil (10,000) UIT.

279.4 Finalizado el procedimiento sancionador y tratándose de infracciones calificadas como leves, la Autoridad Administrativa de Agua podrá disponer, a solicitud del infractor, la sustitución de la sanción de multa por la de trabajo comunitario en la cuenca en materia de aguas, previa valorización de dicho trabajo.

279.5 Se podrá disponer la extinción del derecho de uso de agua otorgado, de acuerdo con las circunstancias agravantes de la conducta sancionable o infracción cometida.

Artículo 281º.- Incumplimiento de pago de multa y ejecución coactiva

281.1 El incumplimiento de pago de las multas se sancionará con la suspensión del derecho de uso de agua otorgado, sin perjuicio de realizar la cobranza por la vía coactiva.

281.2 Toda deuda impaga o ejecución incumplida de una obligación de hacer o no hacer en atención a la sanción impuesta por comisión u omisión de conducta

sancionable o infracción a la legislación de aguas, será materia de un procedimiento de ejecución coactiva, conforme con la legislación de la materia.

M) LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL: LEY N° 27446

Por la presente ley se da la creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de proyectos de inversión.

Artículo 1° Objeto de la ley

La presente ley tiene como finalidad: La creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto ambiental (SEIA), como un sistema único coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.

Artículo 5° Criterios de protección ambiental

Para efectos de la clasificación de los proyectos de inversión que queden comprendidos dentro del SEIA, la autoridad competente deberá ceñirse a los siguientes criterios:

- b) La protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos, y emisiones gaseosas y radiactivas.
- c) La protección de los recursos naturales, especialmente las aguas, el suelo, la flora y la fauna.

Artículo 15° Seguimiento y control

La autoridad competente será responsable de efectuar la función de seguimiento, supervisión y control de la evaluación del impacto ambiental, aplicando las sanciones administrativas a los infractores. El seguimiento, supervisión y control se podrá ejecutar a través de empresas o instituciones que se encuentren debidamente calificadas e inscritas en el registro que para el efecto abrirá la autoridad competente. Las empresas o instituciones que elaboren los estudios de impacto ambiental no podrán participar en la labor de seguimiento, supervisión y control de los mismos.

N) LEY GENERAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. LEY N° 26338

Ley que regula la prestación de los servicios de saneamiento en los ámbitos rurales y urbanos.

Artículo 4°, 8° y 9°

Corresponde al estado a través de sus entidades competentes regular, supervisar la prestación de servicios de saneamiento así como establecer los derechos y obligaciones de las EPS y proteger los derechos de los usuarios a través de sus organismos reguladores: Ministerio de la Presidencia – Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

Artículo 10°

Uno de los sistemas que integran los servicios de saneamiento es el Servicio de Alcantarillado Sanitario y Pluvial al que le corresponde el tratamiento y disposición de las aguas servidas.

O) REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE SERVICION DE SANEAMIENTO:

D.S. N° 09-95-PRES

Capítulo I: De la prestaciones de servicios

Artículo 17°

Los niveles de calidad del servicio, serán establecidos por la superintendencia para cada EPS y en los siguientes aspectos:

- Calidad del agua potable, continuidad del suministro, modalidad de distribución.
- Modalidad de disposición de las aguas servidas o de la eliminación de excretas.
- Calidad del efluente de modo que no afecte las condiciones del cuerpo receptor y del medio ambiente.

Capítulo III: De las funciones, derechos y obligaciones de las entidades prestadoras en general.

Artículo 55°

Las EPS, de acuerdo con la Ley General tienen las siguientes Funciones:

- La recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas, recolección de las aguas pluviales y disposición sanitaria de excretas.
- La operación, mantenimiento y renovación de las instalaciones y equipos utilizados en la prestación de los servicios de saneamiento de acuerdo a las normas técnicas correspondiente a lo establecido en el presente Reglamento.
- La prestación de los servicios, en los niveles y demás condiciones establecidas en el reglamento de prestación de servicios, la normatividad vigente y contrato de explotación.

- La formulación y ejecución de los planes maestros.
- El asesoramiento en aspectos técnicos y administrativos a las localidades del ámbito rural de su responsabilidad.
- La aprobación y supervisión de los proyectos a ser efectuados por terceros, dentro de su ámbito de responsabilidad.

Artículo 56°

Son derechos de la EPS lo siguiente:

- Cobrar por el servicio de prestado de acuerdo al sistema tarifario establecido en la Ley el reglamento de Servicio de saneamiento.
- Cobrar moras y suspender el servicio en caso de incumplimiento de pago durante 2 meses consecutivos.
- Anular conexiones clandestinas, cobrar por daños de bienes de la empresa.
- Percibir contribuciones con carácter reembolsable, para financiar ampliaciones de los servicios.

P) DIRECTIVA N° 180-97 SUNASS

Medidas inmediatas para evitar la Propagación del cólera y otras enfermedades.

5.- Obligaciones Específicas de las EPS

- Mantener en buenas condiciones operativas las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Dotar a las plantas de tratamiento de aguas residuales de las instalaciones necesarias para la higiene del personal.
- Denunciar ante las autoridades competentes a los que extraigan ilícitamente las aguas residuales del sistema de alcantarillado.
- Controlar la calidad del agua residual tratada, de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
- Definir la zona de influencia de las descargas de agua residuales a través del monitoreo del curso o cuerpo receptor de esta agua, e informar mediante anuncios o carteles ubicadas en zonas cercanas sobre la peligrosidad del uso de estos cursos o cuerpos receptores con fines recreacionales, agrícola o de pesca. Las EPS deberá denunciar ante las autoridades el uso de las aguas residuales para los fines indicados.

- Las EPS deben establecer un estricto control en los emisores principales para conocer la tendencia de la presencia del bacilo cólera.

Q) CÓDIGO DEL MEDIO AMBIENTE: D.L. °613

Artículo 107° Competencia sobre la calidad de las aguas

Es de responsabilidad del ministerio de Salud garantizar la calidad del agua para consumo y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario.

Artículo 113° y 114° Infracciones y Sanciones Administrativas

La violación de las normas que contiene este código y las disposiciones que emanen de él constituyen infracciones administrativas y serán sancionadas por la autoridad competente. Las infracciones de las normas ambientales, son sujeto pasible de las siguientes sanciones administrativas:

- Multa de 0.5 a 200 UIT, si existe internamiento de residuos tóxicos peligrosos.
- Imposición de obligaciones compensatorias.
- Suspensión o cancelación de licencia de funcionamiento al que genero la infracción.

R) RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 0030-84.S.A./DVM

Artículo 1° y 4°

La autoridad sanitaria delega al ministerio de agricultura (Administradores técnicos de Distritos de riego) las funciones de control, vigilancia y sanción por la utilización de las aguas servidas con fines de irrigación; las multas que se apliquen se abonarán al Banco de la Nación a la cuenta del Ministerio de Salud – Dirección general de medio ambiente.

S) CODIGO PENAL: D.L. N° 635

Título XIII: Delitos contra la ecología.

Capítulo único: Delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente.

Artículo 304° Contaminación del ambiente

El que, infringiendo las normas sobre protección del medio ambiente, lo contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna y recursos hidrobiológicos, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años o con ciento ochenta a trescientos sesenta y cinco días-multa. Si el agente actuó

por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de un año o prestación de servicio comunitario de diez a treinta jornadas.

Artículo 305° Formas agravadas

La pena será privativa de libertad de 2 a 4 años y con trescientos sesenta y cinco a setecientos treinta días – multa cuando:

- Los actos previstos en el artículo 304 ocasionan peligro para la salud de las personas o para sus bienes.

- El agente actuó clandestinamente en el ejercicio de su actividad.

- Los actos contaminantes afectan gravemente los recursos naturales que constituyen la base de la actividad económica.

Si como efecto de la actividad contaminante, producen lesiones graves o muerte la pena será:

- Privativa de libertad no menor de tres ni mayor de seis años y de trescientos sesenta y cinco a setecientos días multa en caso de lesiones graves.

- Privativa de libertad no menor de cuatro ni mayor de ocho años y de setecientos treinta a mil cuatrocientos sesenta días – multa en caso de muerte.

Artículo 307° Incumplimiento de normas sanitarias

El que deposita, comercializa o vierte desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados o sin cumplir con las normas sanitarias y de protección del Medio Ambiente, será privado de libertad no mayor de 02 años. Si el agente es funcionario público, la pena será no menor de uno ni mayor de tres años, e inhabilitación e uno a dos años.

T) NORMA OS0.90 OBRAS DE SANEAMIENTO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

5.1.5 Los sistemas de tratamiento deben ubicarse en un área suficientemente extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a torrentes y avenidas, y en el caso de no ser posible, se deberán proyectar obras de protección. El área deberá estar lo más alejada posible de los centros poblados, considerando las siguientes distancias:

- 500 m como mínimo para tratamientos anaerobios;
- 200 m como mínimo para lagunas facultativas;
- 100 m como mínimo para sistemas con lagunas aeradas; y
- 100 m como mínimo para lodos activados y filtros percoladores.

Las distancias deben justificarse en el estudio de impacto ambiental.

El proyecto debe considerar un área de protección alrededor del sistema de tratamiento, determinada en el estudio de impacto ambiental. El proyectista podrá justificar distancias menores a las recomendadas si se incluye en el diseño procesos de control de olores y de otras contingencias perjudiciales.

5.4.1. Generalidades: Tratamiento Primario

5.4.1.1. El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final.

5.4.1.2. Los procesos del tratamiento primario para las aguas residuales puede ser: tanques Imhoff, tanques de sedimentación y tanques de flotación.

ENTIDADES INVOLUCRADAS

A) Ministerio del Ambiente (MINAM)

Fue creado el 14 de mayo de 2008, mediante Decreto Legislativo N° 1013, como ente rector del sector ambiental nacional, que coordina en los niveles de gobierno local, regional y nacional. Se encarga de asegurar el cumplimiento del mandato constitucional sobre la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas y el desarrollo sostenible de la Amazonía. Asegura la prevención de la degradación del ambiente y se los recursos naturales y revertir los procesos negativos que los afecta.

B) Autoridad Nacional del Agua (ANA)

La autoridad Nacional del Agua es el organismo encargado de realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas, en el marco de la gestión integrada de los recursos naturales y de la gestión de la calidad ambiental nacional estableciendo alianzas estratégicas con los gobiernos regionales, locales y el conjunto de actores sociales y económicos involucrados. Tiene como principales funciones formular la política y estrategia nacional de recursos hídricos, administrar y formalizar los derechos de uso de agua, distribuirla equitativamente, controlar su calidad y facilitar la solución de conflictos.

C) Ministerio de Agricultura (MINAG)

Otorga licencias para uso de aguas superficiales, subterráneas y otras licencias para uso de aguas residuales.

D) Ministerio de Economía y Finanzas (MEF)

Aprueba presupuestos de EPS y SUNASS. Aprueba y canaliza los fondos de inversión.

E) Ministerio de la producción

Regula la calidad de las descargas industriales en los sistemas de alcantarillado.

F) Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Responsable del sector saneamiento, regula los estándares de diseño y las especificaciones técnicas de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (RNE - Título II y III)

G) Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento (SUNASS)

Organismo regulador y fiscalizador de la prestación de los servicios de saneamiento en el Perú. Establece las condiciones generales de la prestación del servicio. Fiscaliza el cumplimiento de las normas fijación tarifaria. Supervisa las EPS urbanas debidamente registradas.

H) Ministerio de Salud (MINSA)

Es la autoridad sanitaria que regula la calidad del agua para consumo humano, autoriza vertimientos, aprueba proyectos de plantas de tratamiento de agua potables y de aguas residuales, formula políticas y dicta las normas de calidad sanitaria y protección ambiental, a través de DIGESA, ejerce vigilancia de la calidad del agua.

I) Proyecto Binacional Lago Titicaca (PELT)

Fue creado el 27 de Octubre de 1987 mediante Decreto Supremo N° 023-87-MIPRE, y luego sería refrendado por los gobiernos de Perú y Bolivia como un Proyecto Binacional mediante el Decreto Supremo N° 008-90-RE. Dependiente del Ministerio de Agricultura; presupuestalmente constituye la Unidad Ejecutora: 017 MINAG Binacional Lago Titicaca; cuenta con autonomía técnica, económica y administrativa. Para efectos de coordinación institucional depende funcionalmente de la Dirección General de Infraestructura Hidráulica; actúa además como una Unidad Operativa peruana de la ALT de los acuerdos internacionales entre Perú y Bolivia sobre el Lago Titicaca, rio Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.).

J) Autoridad Binacional Autónoma del Sistema Hídrico (ALT)

El objetivo general de la ALT es promover y conducir las acciones, programas y proyectos; y dictar y hacer cumplir las normas de ordenamiento, manejo, control y protección en la gestión del agua, del Sistema Hídrico Titicaca - Desaguadero - Poopó - Salar de Coipasa, que en adelante también podrá ser denominado sistema Hídrico T.D.P.S., en el marco del Plan Director Global Binacional del Sistema Hídrico TDPS, en adelante Plan Director.

K) Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno (EMSAPUNO)

Empresa de saneamiento del sur del Perú, abastece con agua de calidad en forma racional y oportuna, recolecta las aguas servidas, con el fin de brindar mejores condiciones de salud y salubridad a nuestros usuarios de las ciudades de Puno, Ilave y Desaguadero; basado en principios y valores institucionales sólidos y preservando el medio ambiente.

11.2 ANEXO N° 2: PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía N° 11.1: Toma muestra en el Pto B (izquierda), muestra en el Pto C (derecha)



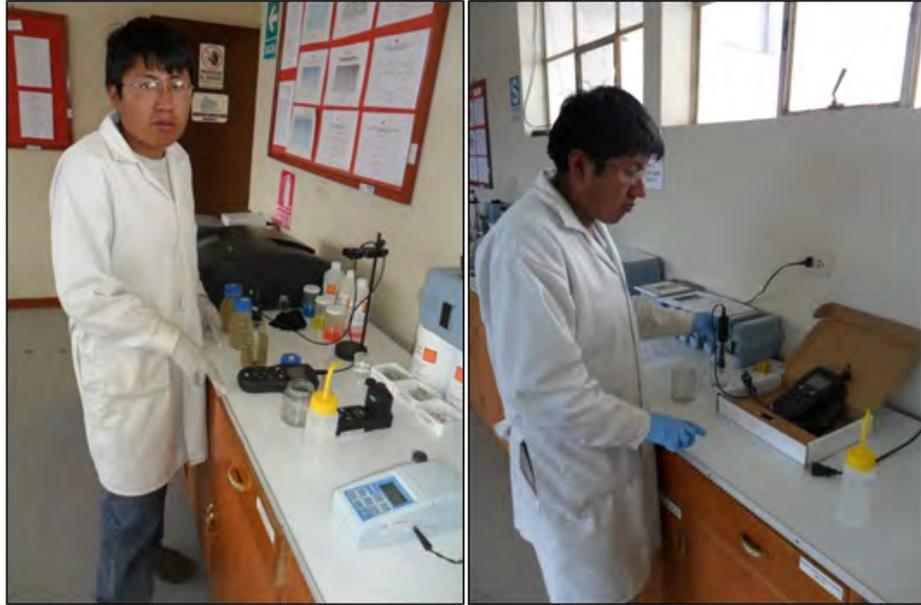
Fotografía N° 11.2: Programación de bomba peristáltica (izquierda), agitación de mezclador mecánico en digestor.



Fotografía N° 11.3: Limpieza del tanque de almacenamiento.



Fotografía N° 11.4: Transporte de agua residual PTAR-espinar-Puno



Fotografía N° 11.5: Medición de parámetros diarios: pH, Turbiedad, SST(izquierda) medición de oxígeno disuelto con oxímetro



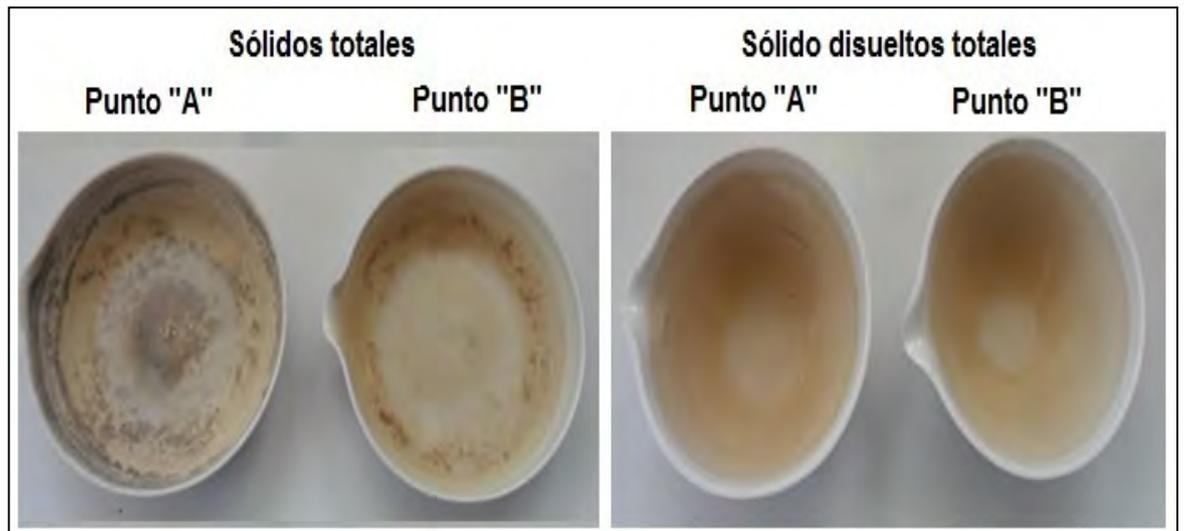
Fotografía N° 11.6: Prueba de la DBO₅



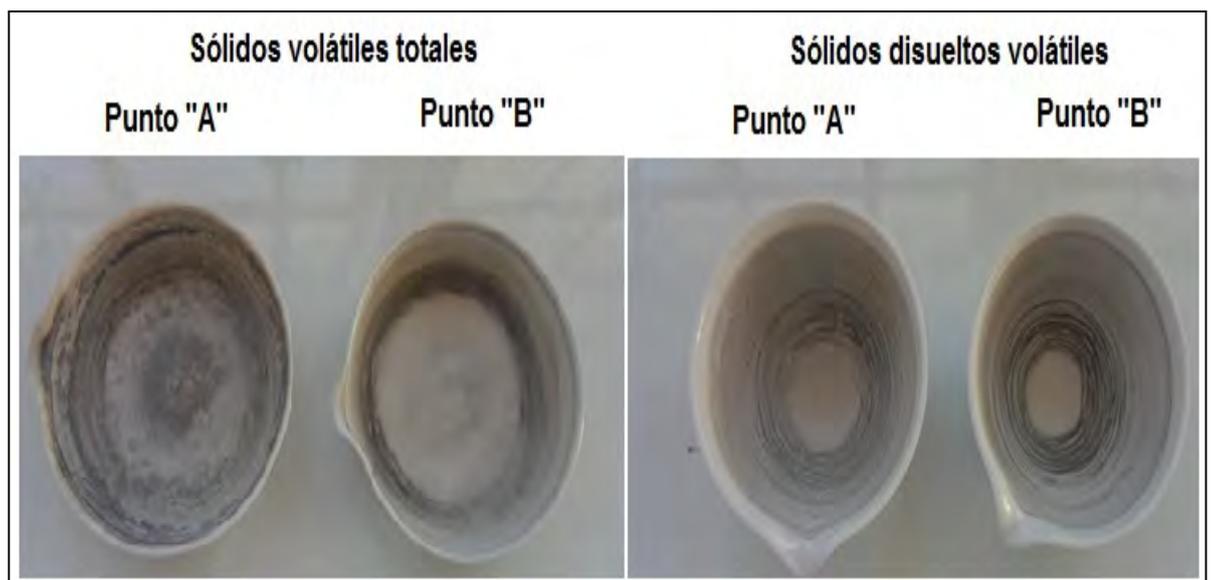
Fotografía N° 11.7: Determinación de sólidos volátiles totales y sólidos suspendidos volátiles.



Fotografía N° 11.8: Solución de hidróxido de sodio, para medir el metano



Fotografía N° 11.9: Cápsulas de porcelana, después de estar en la estufa



Fotografía N° 11.10: Cápsulas de porcelana, después de la mufla



Fotografía N° 11.11: Sólidos sedimentables, izquierda (entrada de agua residual), medio (Salida de UASB TRH 12 horas), derecha (Salida UASB TRH 4 horas)

11.3 ANEXO N° 3: IMÁGENES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Cuadro N° 11.3: Características del Manto de lodo del reactor UASB durante la investigación

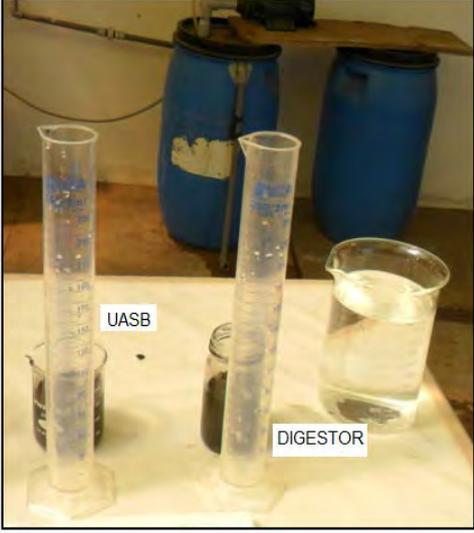
Semana	Manto de lodo de UASB	Observaciones
28 de Diciembre		Manto de lodo inoculado, se prendió la bomba de impulsión de caudal constante a 49L/día .
Semana 1		El manto de lodos baja su nivel debido a consecuencia de las deficientes operaciones del sistema de bombeo reactor UASB-digestor, altura de lodo 36.8cm.
Semana 3		El nivel de lodo se aumenta, bombeando del digestor al UASB logrando una altura 44.5cm.

Semana	Manto de lodo UASB	Observaciones
Semana 5		El nivel de lodo aún tiene fallas ya que la altura de lodo no se mantiene constante.
Semana 6		Se coloca un cinta métrica para lectura de lodo, además se nota presencia de sólidos acumulados en la última capa de lodo, la altura de lodo empieza a estabilizarse en 36.5cm
Semana 9		En las paredes del reactor UASB, aparece una mancha roja, es por la oxidación de hierro ferroso por bacterias fototrofas anoxigénicas, el color rojizo es por la precipitación de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, funciona como donador de e^- para la reducción del hierro ferroso. Altura de lodo 45cm.

Semana	Manto de lodo de UASB	Observaciones
Semana 11		<p>Se limpia las paredes del UASB, limpiando la mancha rojiza, pero después empieza aparecer otra mancha, esta vez de color rosado. Se inocula lodo del digestor al UASB hasta 61cm. Se inocula lodo de CITRAR al digestor, hasta una altura de 85cm.</p>
Semana 12		<p>Previo a la semana de evaluación el comportamiento del UASB-digestor, en recirculación de lodos es óptimo, el nivel de lodo en UASB y digestor se mantiene constante, altura de lodo UASB 61cm y altura de lodo digestor 85cm</p>
Semana 21		<p>En toda la fase de evaluación el manto de lodo opero sin problemas, así como el digestor, el detalle es que la macha parda rojiza persiste en aparecer.</p>

Semana	Manto de lodo UASB	Observaciones
Semana 27		<p>La última semana de evaluación en el manto de lodos no hay sólidos suspendidos atrapados dentro del manto, lo cual nos indica un buen trabajo del digestor.</p>
27 de Julio		<p>Después de finalizado la investigación al desarmar los reactores, se observa la misma coloración rojiza en la zona de entrada del UASB.</p>

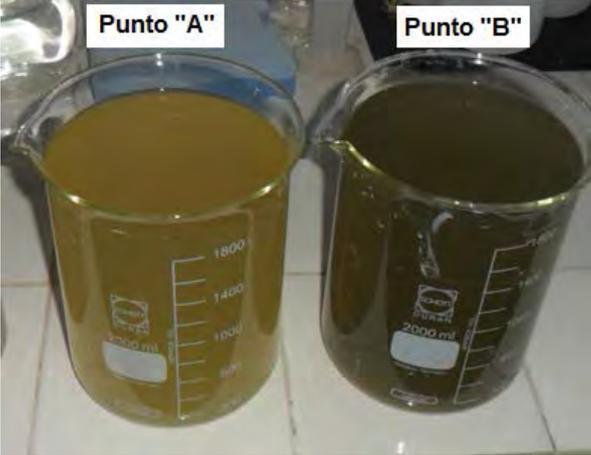
Cuadro N° 11.4: Prueba de sedimentación de lodo reactor UASB y Digestor de lodos al finalizar la semana 26

Paso	Muestras de lodo UASB y Digestor	Observaciones
1		<p>En un recipiente de 200ml, extraemos lodo de la tercera válvula del reactor UASB, del digestor también extremos de la tercera válvula, ambos una muestra de 100ml.</p>
2		<p>El lodo extraído, colocamos a la probeta de 250ml.</p>

Paso	Muestras de lodo UASB y Digestor	Observaciones
3		<p>Luego completamos con agua potable hasta completar 250ml, luego lo agitamos tres veces y dejamos que sedimente.</p>
4		<p>Después de 7 minutos, observamos, que ambas columnas probetas se clarifican, mostrando ambos características de lodo flocúleno.</p>

Cuadro N° 11.5: Resultados de agua residual doméstica tratada con el reactor UASB-Digestor

Semana	Muestra	Observaciones
Semana 1		En la primera semana de operación se aprecia que la remoción de turbidez en promedio es 91.7NTU, operado a un caudal de 49.0 L/día TRH de 14 horas.
Semana 9		Después de mejorar la operación del digestor el reactor UASB se opera a un caudal de 60ml/min y TRH de 8 horas, durante 4 semanas, la turbiedad en promedio es 66.3NTU.
Semana 11		La operación del digestor se estabiliza, se continua operando con un caudal de 86.4 L/día TRH de 8 horas la turbiedad promedio es 73.3NTU.

Semana	Muestra	Observaciones
Semana 24		<p>Aplicando un caudal de 172.8 L/día corresponde un TRH de 4 horas, a consecuencia del incremento de la velocidad ascensional, el manto de lodo es lavado y se pierde parte de lodo flocúleno, la calidad del efluente es deficiente con turbiedad promedio de 144.3NTU.</p>
Semana 26		<p>Aplicando un caudal de 57.6 L/día corresponde un TRH de 12 horas, la calidad del efluente es excelente una eficiencia de remoción de DQO total de 48.3%) con turbiedad promedio de 114.9NTU.</p>