

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA
D.H.S. A ESCALA PILOTO”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS

LUIS ANGEL VISURRAGA MARIÑO

LIMA, PERÚ 2012

DEDICATORIA

*A mis padres, hermanos
y todos aquellos que me
ayudaron a emprender
esta investigación para
obtener el título de
Ingeniero Sanitario*

RAFAEL FRANCOIS ROJAS RAMOS

*A mi hermano Henry, que
enseña a mi familia día a día con
su fortaleza y paciencia a no
rendirnos ante cualquier
adversidad.*

LUIS ANGEL VISURRAGA MARIÑO

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a todas aquellas personas, quienes nos brindaron su valioso apoyo; muy en especial:

- A la Ingeniera Rosa Yaya Beas, quien nos dio la orientación y pauta, para la elección e inicio del tema de investigación.
- Al personal técnico y administrativo de CITRAR de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Al personal técnico y administrativo del laboratorio de investigación del agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- A la Srta. Audrey Marc de la universidad de la Universidad Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris.

También, agradecemos a todas aquellas personas que, de alguna manera, nos apoyaron en algún momento, ya sea en la fase preliminar o durante el desarrollo del estudio.

RESUMEN

El nuevo sistema de tratamiento investigado consiste en la combinación de un reactor U.A.S.B. (Reactor Anaeróbico de manto de lodos de Flujo Ascendente) con un filtro Down flow Hanging Sponge (DHS).

Este reactor D.H.S. como post tratamiento fue evaluado en periodo de 6 meses, demuestra ser un sistema alternativo para la optimización del tratamiento de las aguas residuales.

Los resultados que demuestran que un post tratamiento con un reactor D.H.S. es una buena alternativa son los resultados obtenidos en los siguientes parámetros:

- El valor de la DBO promedio que resultaron a la salida del Reactor D.H.S. es de 2.66 mg/l, el cual nos refleja un rendimiento de 97.45, experiencia que demuestra una buena remoción de DBO.
- La turbiedad promedio en los módulos I y II que resultó 43.49 FAU llegando a tener un rendimiento de 84.56% con un adecuado mantenimiento.
- Los sólidos totales promedio en ambos módulos resultaron 0.7 mg/l, indicándonos un rendimiento de 62.90% lo cual demuestra una buena alternativa como post tratamiento.

- Los sólidos suspendidos totales promedio resultaron 0.07 mg/l, indicándonos un rendimiento de 99.37% lo cual demuestra una buena alternativa como post tratamiento.
- Los sólidos volátiles totales promedio que resultaron 0.18 mg/l, indicándonos un rendimiento de 93.88% lo cual demuestra una buena alternativa como post tratamiento.
- Los sólidos fijos totales promedio que resultaron 0.45 mg/l, indicándonos un rendimiento de 63.01% lo cual demuestra una buena alternativa como post tratamiento.

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
I.1.ANTECEDENTES.....	1
I.2.PROBLEMA A INVESTIGAR.....	2
I.3.HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION.....	2
I.4.JUSTIFICACION.....	2
I.5.DEFINICION DE TERMINOS	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	6
II.1ASPECTOS GENERALES.....	6
II.1.1.AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS	6
II.1.2.COMPOSICION DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA.....	8
II.1.2.1.Características físicas del agua residual	9
II.1.2.2.Características químicas de las aguas residuales.....	12
II.1.2.3.Características Biológicas del agua residual	15
II.2TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERU.....	15
II.2.1.DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN EL PERU	15
II.2.1.1Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú	16
II.2.1.2Déficit de financiamiento en tratamiento de aguas residuales	19
II.3TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	19

II.3.1.Tratamiento Preliminar.....	20
<input type="checkbox"/> Rejas.....	20
<input type="checkbox"/> Desmenzadores.....	20
<input type="checkbox"/> Desengrasadores.....	21
<input type="checkbox"/> Tanques de Compensación.....	21
<input type="checkbox"/> Desarenadores.....	21
II.3.2.TECNOLOGIAS DISPONIBLES COMO TRATAMIENTO PRIMARIO.....	22
<input type="checkbox"/> Sedimentación.....	22
<input type="checkbox"/> Flotación.....	24
<input type="checkbox"/> Precipitación Química.....	25
II.3.3.TECNOLOGIAS DISPONIBLES COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	27
<input type="checkbox"/> U.A.S.B.....	27
<input type="checkbox"/> Tanque Imhoff.....	28
<input type="checkbox"/> Lodos activados.....	28
<input type="checkbox"/> Filtros Biológicos.....	30
<input type="checkbox"/> Lagunas de Estabilización.....	30
<input type="checkbox"/> Discos Rotatorios.....	32
II.3.4.TECNOLOGIAS DISPONIBLES COMO TRATAMIENTO TERCARIO.....	33
<input type="checkbox"/> Sistema de Cloración.....	33
<input type="checkbox"/> Radiación Ultravioleta.....	35
<input type="checkbox"/> Ozonización.....	36
II.4DESCRIPCION DE LA PTAR UBICADA EN CITRAR.....	37
II.4.1.UNIDAD DE CAPTACION.....	37
II.4.1.1.Unidad de Captación y Regulación de caudales.....	37
II.4.2.UNIDADES DE PRETRATAMIENTO.....	38
II.4.2.1.Rejas gruesas.....	38
II.4.2.2.Rejas finas.....	39
II.4.2.3.Desarenadores.....	40
II.4.3.UNIDADES DE TRATAMIENTO PRIMARIO.....	41
II.4.3.1.Reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente (RAFA - UASB)	41

VIII

II.4.3.2. Lecho de Secado de Lodos	42
II.4.4. UNIDADES DE TRATAMIENTO SECUNDARIO	43
II.4.4.1. Lagunas de estabilización facultativas	43
II.5. TECNOLOGIA DEL REACTOR D.H.S.	45
II.5.1. REACTOR D.H.S. (Espanja Colgante de Flujo Descendente)	45
II.5.2. TIPOS DE REACTOR D.H.S.	45
II.5.2.1. REACTOR D.H.S. G1	48
II.6. INVESTIGACIONES SIMILARES	48
II.6.1. Desempeño de un tratamiento de aguas residuales a escala piloto: un sistema combinado de reactores anaeróbico de manto de lodo de flujo ascendente (UASB) y de esponja colgante de flujo descendente (DHS) por proceso de reacción Azufre - Redox bajo condiciones de baja temperatura.	48
II.6.2. Rendimiento de filtros percoladores de plástico y esponjas en el tratamiento de efluentes de un reactor U.A.S.B.	49
CAPITULO III: MARCO LEGAL	52
III.1. MARCO LEGAL	52
III.1.1. ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL	52
i) DECRETO SUPREMO N°002-2008 MINISTERIO DEL AMBIENTE (Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua)	52
III.1.2. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	54
i) DECRETO SUPREMO N°003-2010 MINISTERIO DEL AMBIENTE (Aprueban Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales)	55
CAPITULO IV: OBJETIVOS	56

CAPITULO V: MATERIALES Y METODOS.....	57
V.1.DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.....	57
V.2.DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	58
V.3.UBICACIÓN.....	59
V.4.MONTAJE DEL PROTOTIPO.....	60
V.4.1.EQUIPOS EMPLEADOS.....	61
V.4.1.1BOMBA ½ HP.....	61
V.4.1.2TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	62
V.4.2.SISTEMA DE REGULACION.....	64
V.4.3.REACTOR DE D.H.S.....	68
i)Características de las esponjas.....	70
V.4.4.DECANTADOR.....	78
V.5.CONDICIONES HIDRAULICAS.....	80
V.5.1.TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA DEL REACTOR D.H.S. TEORICO (TRH).....	80
V.5.2.CAUDAL.....	80
V.5.3.TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA DEL REACTOR D.H.S. REAL (TRH).....	83
V.6.METODOS ANALITICOS.....	84
V.6.1.ANALISIS FISICOQUIMICOS.....	84
V.6.1.1.TEMPERATURA.....	84
V.6.1.2.PH.....	84
V.6.1.3.TURBIEDAD.....	85
V.6.1.4.OXIGENO DISUELTO (OD).....	86
V.6.1.5.SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	86
V.6.1.6.SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT).....	86
V.6.1.7.DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5).....	87
V.6.1.8.DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).....	87
V.6.2.ANALISIS MICROBIOLÓGICOS.....	87
V.6.2.1COLIFORMES TOTALES (CT) Y COLIFORMES FECALES (CF).....	87

V.7.MANTENIMIENTO	88
CAPITULO VI: RESULTADOS	90
CAPITULO VI: RESULTADOS	90
VI.1.ANALISIS FISICOQUIMICO	90
VI.1.1.TEMPERATURA	90
VI.1.1.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01	92
VI.1.1.3.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor DHS 2:	94
VI.1.2.PH.....	95
VI.1.2.1.Resultados de la caracterización en el Afluente del Reactor D.H.S.	96
VI.1.2.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01	97
VI.1.2.3.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 02	99
VI.1.3.TURBIEDAD.....	101
VI.1.3.1.Resultados de la caracterización en el Afluente del reactor D.H.S.....	101
VI.1.3.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 ...	103
VI.1.3.3.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 02....	104
VI.1.4.OXIGENO DISUELTO	106
VI.1.4.1.Resultados de la caracterización en el Afluente del Reactor D.H.S.	107
VI.1.4.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 1	109
VI.1.4.3.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 2:.....	111
VI.1.5.SÓLIDOS TOTALES	115
VI.1.5.1.Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.....	115
VI.1.5.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 ...	116
VI.1.5.3.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 ...	119
VI.1.6.SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.....	121
VI.1.6.1.Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.....	121
VI.1.6.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 ...	122
VI.1.6.3.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 ...	125
VI.1.7.SÓLIDOS VOLATILES TOTALES.....	126
VI.1.7.1.Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.....	126

VI.1.7.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01	128
VI.1.7.3.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 ...	130
VI.1.8.SOLIDOS FIJOS TOTALES	132
VI.1.8.1.Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.....	132
VI.1.8.2.Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 ...	134
VI.1.8.3.Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S. 2.....	136
VI.2.ANALISIS FISICOQUIMICOS	139
VI.2.1.DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)	139
VI.2.1.1.Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.....	139
VI.2.1.2.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 01....	141
VI.2.1.3.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 2.....	143
VI.2.2.DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).....	144
VI.2.2.1.Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.....	145
VI.2.2.2.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 01....	147
VI.2.2.3.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 02....	148
VI.2.3.DEMANDA QUIMICA OXIGENO FILTRADA.....	154
VI.2.3.1.Resultados de la caracterización en el afluente del D.H.S.	154
VI.2.3.2.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 1.....	154
VI.2.3.3.Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 02....	155
VI.3.ANALISIS MICROBIOLOGICOS	162
VI.3.1.COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES	162
VI.3.1.1.Coliformes Totales.....	162
VI.3.1.2.Coliformes Termotolerantes.....	162
CAPITULO VII: DISCUSION	168
VII.1.CON RESPECTO A LA ACTIVIDAD BIOLOGICA DE REMOCION DE CONTAMINANTES EN LOS REACTORES DHS.	168
VII.2.CON RESPECTO A LA OPERACIÓN DE LOS REACTORES DHS.....	168
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES	170

CAPITULO IX: RECOMENDACIONES	172
CAPITULO X: BIBLIOGRAFIA	173

INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRAFICOS

TABLAS

CAPITULO II: MARCO TEORICO.....6

Tabla N° 2.1. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....7

Tabla N° 2.2 Composición típica del agua residual doméstica9

CAPITULO III: MARCO LEGAL.....52

Tabla N° 3.1. Estándares de calidad ambiental – categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales.....54

Tabla N° 3.2. Límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.....55

CAPITULO VI: RESULTADOS90

Tabla N° 6.1. Valores de caudal, Tiempo de Retención Hidráulico y Períodos.....91

Tabla N° 6.2. Valores promedio de Temperatura del Afluente del Reactor D.H.S. ...91

Tabla Nº 6.3. Valores promedio de Temperatura del Efluente del Reactor D.H.S. 01	92
Tabla Nº 6.4. Valores promedio de Temperatura del Efluente del Reactor D.H.S. 294	
Tabla Nº 6.5. Valores promedio de pH del Afluente del Reactor D.H.S.....	96
Tabla Nº 6.6. Valores promedio de pH del Efluente del Reactor D.H.S. 01.....	98
Tabla Nº 6.7. Valores promedio de pH del Efluente del Reactor D.H.S. 02.....	100
Tabla Nº 6.8. Valores promedio de Turbiedad en el Afluente del Reactor D.H.S. 101	
Tabla Nº 6.9. Valores promedio de Turbiedad en el Efluente del Reactor D.H.S. 01	103
Tabla Nº 6.10. Valores promedio de Turbiedad del Efluente del Reactor D.H.S. 2105	
Tabla Nº 6.11. Valores promedio de Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor D.H.S.....	107
Tabla Nº 6.12. Valores promedio de Oxígeno Disuelto en el Efluente del Reactor D.H.S. 01.....	109
Tabla Nº 6.13. Valores promedio de Oxígeno Disuelto del Efluente del Reactor D.H.S. 02.....	111
Tabla Nº 6.14. Valores promedio de Sólidos Totales en el Afluente del Reactor D.H.S.....	115
Tabla Nº 6.15. Resultados de los Sólidos Totales del Efluente D.H.S. 01.....	117
Tabla Nº 6.16. Valores promedio de Sólidos Totales del Efluente del D.H.S. 02...	119
Tabla Nº 6.17. Valores promedio de Sólidos Suspendidos en el Afluente del D.H.S.	121
Tabla Nº 6.18. Resultados promedio de Sólidos Suspendidos Totales del Efluente del D.H.S. 01	123
Tabla Nº 6.19. Valores promedio de Sólidos Suspendidos Totales del Efluente del D.H.S.02.....	125
Tabla Nº 6.20. Valores promedio de Sólidos Volátiles del Afluente del D.H.S.....	127
Tabla Nº 6.21. Valores promedio de Sólidos Volátiles del Efluente del D.H.S. 01.	129
Tabla Nº 6.22. Valores promedio de Sólidos Volátiles Totales del Efluente del D.H.S. 02.....	131

Tabla N° 6.23. Valores promedio de Sólidos Fijos del Afluyente del D.H.S.....	133
Tabla N° 6.24. Valores promedio de Sólidos Fijos Totales del Efluente del D.H.S. 01	135
Tabla N° 6.25. Valores promedio de Sólidos Fijos del Efluente del D.H.S. 02.....	137
Tabla N° 6.26. Valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Afluyente del D.H.S	139
Tabla N° 6.27. Valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Efluente del D.H.S. 01	141
Tabla N° 6.28. Valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del Efluente del D.H.S. 02	143
Tabla N° 6.29. Valores promedio de DQO en el Afluyente del Reactor D.H.S.	145
Tabla N° 6.30. Valores promedio de la Demanda Química de Oxígeno del Efluente del reactor D.H.S. 01	147
Tabla N° 6.31. Valores promedio de la Demanda Química de Oxígeno del Efluente del reactor D.H.S. 02	149
Tabla N° 6.32. Valores de la DQO Filtrada del Afluyente del D.H.S.....	154
Tabla N° 6.33. Valores de la DQO Filtrada del Efluente del reactor D.H.S. 01	155
Tabla N° 6.34. Valores de la DQO Filtrada del Efluente del reactor D.H.S. 02.....	155
Tabla N° 6.35. Rendimiento del reactor D.H.S. 01 y rendimiento del reactor D.H.S.	
Tabla N° 6.36. Rendimiento del reactor D.H.S. 01 y Rendimiento del reactor D.H.S.	
Tabla N° 6.37. Tabla resumen de valores promedio de los parámetros monitoreados.	166
Tabla N° 6.38. Tabla resumen de valores promedio de los parámetros monitoreados.	167

CUADROS

CAPITULO II: MARCO TEORICO.....6

Cuadro N° 2.1. PTAR con tecnología distinta de las lagunas de estabilización.....17

Fuente: Información recopilada por la SUNASS de la EPS en setiembre de 2007..17

Cuadro N° 2.2. PTAR más grandes del Perú	18
Fuente: Información recopilada por la SUNASS de la EPS en setiembre de 2007..	18

FIGURAS

CAPITULO II: MARCO TEORICO.....6

Figura N° 2.01. Captación.....	38
Figura N° 2.02. Rejas gruesas	39
Figura N° 2.03. Rejas finas	39
Figura N° 2.04. Desarenadores	40
Figura N° 2.05. Reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente	42
Figura N° 2.06. Lecho de secado.....	43
Figura N° 2.07. Lagunas de estabilización.	44
Figura N° 2.08. Reactor D.H.S. G1	46
Figura N° 2.09. Reactor D.H.S. G2	46
Figura N° 2.10. Reactor D.H.S. G3	46
Figura N° 2.11. Reactor D.H.S. G4	47
Figura N° 2.12. Reactor D.H.S. G5	47
Figura N° 2.13. Reactor D.H.S. G6	47
Figura N° 2.14. Dimensiones de la esponja	48

CAPITULO V: MATERIALES Y METODOS.....57

Figura N° 5.1. Diagrama de flujo.....	58
Figura N° 5.2. Ubicación de la zona del proyecto.....	59
Figura N° 5.3. Sistema del Reactor D.H.S.	60
Figura N° 5.4. Bomba ½ HP.....	62
Figura N° 5.5. Tanque de 200 litros y válvulas	63
Figura N° 5.6. Sistema de regulación de caudal.	65
Figura N° 5.7. Botella de suero	65

Figura N° 5.8. Sistema de rebose y ventilación.....	66
Figura N° 5.9. Sistema de rebose y ventilación.....	67
Figura N° 5.10. Regulación del caudal con la llave reguladora	67
Figura N° 5.11. Reactor D.H.S. 01 y Reactor D.H.S. 02 con sus respectivos módulos	68
Figura N° 5.12. Modulo 01 – Reactor D.H.S. 02.....	69
Figura N° 5.13. Dimensiones de la Esponja.....	70
Figura N° 5.14. Grupo uretano eslabón de las cadenas poliméricas en los poliuretanos.....	72
Figura N° 5.15. Esponja Zebra.....	74
Figura N° 5.16. Esponja cortada	74
Figura N° 5.17. Peso de la esponja.....	75
Figura N° 5.18. Se mide 100ml de agua y luego es vaciado a un recipiente	76
Figura N° 5.19. Se deja la esponja en el recipiente para que absorba el agua	76
Figura N° 5.20. Luego de absorbida se deja la esponja en un recipiente para hallar el volumen de agua desplazada	77
Figura N° 5.21. Tanque de 1 litro adecuado para el decantador	79
Figura N° 5.22. Tanque de 1 litro adecuado para el decantador	79
Figura N° 5.23. Calibración del Caudal	82
Figura N° 5.24. PHmetro.....	85
Figura N° 5.25. Turbidímetro.....	85
Figura N° 5.26. Oxímetro	86
Figura N° 5.27. Sistema D.H.S. cubierto para evitar el crecimiento de las algas en todo el sistema	88

GRAFICOS

CAPITULO II: MARCO TEORICO.....6

Gráfico N° 2.1. Inventario de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	17
--	----

Gráfico N° 2.02. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de CITRAR.....	45
---	----

CAPITULO VI: RESULTADOS85

Gráfico N° 6.1. Variación de la Temperatura en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	92
Gráfico N° 6.2. Variación de la Temperatura en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	93
Gráfico N° 6.3. Variación de la Temperatura en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	95
Gráfico N° 6.4. Variación del pH en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	97
Gráfico N° 6.5. Variación del pH en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	99
Gráfico N° 6.6. Variación del pH en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	100
Gráfico N° 6.7. Variación del pH en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	102
Gráfico N° 6.8. Variación de la Turbiedad en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2.....	104

Gráfico N° 6.9. Variación de la Turbiedad en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2	106
Gráfico N° 6.10. Variación del Oxígeno Disuelto en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	108
Gráfico N° 6.11. Variación del Oxígeno Disuelto en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	110
Gráfico N° 6.12. Variación del Oxígeno Disuelto en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	112
Gráfico N° 6.13. Variación del Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor DHS y el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre. Caudal = (8.1 l/día – Línea con triángulos) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. (Caudal = 16.2 l/día- Línea con cuadrados) Período 2.	113
Gráfico N° 6.14. Variación del Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor D.H.S. y el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = (8.1 l/día – Línea con triángulos) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día- Línea con cuadrados) Período 2.	114
Gráfico N° 6.15. Variación de los Sólidos Totales en el Afluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	116
Gráfico N° 6.16. Variación de los Sólidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	118
Gráfico N° 6.17. Variación de los Sólidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	120

Gráfico N° 6.18 Variación de los Sólidos Suspendidos Totales en el Afluente del Reactor de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	122
Gráfico N° 6.19. Variación de los Sólidos Suspendidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	124
Gráfico N° 6.20. Variación de los Sólidos Suspendidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	126
Gráfico N° 6.21. Variación de los Sólidos Volátiles Totales en el Afluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	128
Gráfico N° 6.22. Variación de los Sólidos Volátiles Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	130
Gráfico N° 6.23. Variación de los Sólidos Volátiles Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	132
Gráfico N° 6.24. Variación de los Sólidos Fijos Totales en el Afluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	134
Gráfico N° 6.25. Variación de los Sólidos Fijos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	136
Gráfico N° 6.26. Variación de los Sólidos Fijos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02, Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	138
Gráfico N° 6.27. Variación de la DBO5 en el Afluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	140

Gráfico N° 6.28. Variación de la DBO5 en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	142
Gráfico N° 6.29. Variación de la DBO5 en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	144
Gráfico N° 6.30. Variación de la DQO en el Afluente de DHS de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	146
Gráfico N° 6.31. Variación de la DQO en el Efluente del reactor DHS de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.....	148
Gráfico N° 6.32. Variación de la DQO en el Efluente del reactor DHS 02 de Julio a Setiembre (Caudal = 8.1 l/día) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.	150
Gráfico N° 6.33. Variación de la DQO en el Efluente del reactor DHS 2 de Julio a Setiembre. (Caudal = 8.1 l/día) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.	152
Gráfico N° 6.34. Evolución de la eficiencia de la DQO de los reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. (Caudal = 8.1 l/día) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.	153
Gráfico N° 6.35. Variación de la DQO Filtrada en el Afluente y Efluente del reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.	156
Gráfico N° 6.36. Variación de la DQO Filtrada en el Afluente y Efluente del reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.	157
Gráfico N° 6.37. Variación de la Eficiencia de la DQO Filtrada en el Afluente y Efluente del reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.	158
Gráfico N° 6.38. Variación de la DQO Filtrada y sin Filtrar en el Afluente del reactor D.H.S. de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.....	159

Gráfico N° 6.39. Variación de la DQO Filtrada y sin Filtrar en el Efluente del reactor D.H.S. 01 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.....	160
Gráfico N° 6.40. Variación de la DQO Filtrada y sin Filtrar en el Efluente del reactor D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.....	161
Gráfico N° 6.41. Evolución de la Eficiencia de Remoción de Coliformes Totales para los Períodos 1 y 2.....	164
Gráfico N° 6.42. Evolución de la Eficiencia de Remoción de Coliformes Termotolerantes para los Período 1 y 2.....	165

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO I: INTRODUCCION

I.1. ANTECEDENTES

El uso del Reactor Anaerobio de manto de lodos Flujo Ascendente (U.A.S.B.) en el tratamiento de aguas residuales ha dado a conocer la eficiencia de este sistema como opción de tratamiento secundario en las aguas residuales por su gran capacidad de soportar altos rangos de carga orgánica aplicada. Siendo esta tecnología utilizada para el tratamiento de aguas residuales y que ha sido aplicado en muchos países en desarrollo como Colombia, Indonesia, Brasil, China y la India.

En el caso de nuestro país el uso de estos reactores U.A.S.B. data desde el año 1985, cuando el CEPIS desarrolló un programa que tuvo como propósito la investigación de unidades de tratamiento anaerobio a nivel primario y secundario en el Complejo Tratamiento de Aguas Residuales de San Juan de Miraflores en Lima. Esta unidad de tratamiento ha requerido de un post tratamiento para eliminar los parámetros residuales que no son eliminados en el tratamiento del Reactor U.A.S.B. Dado que los efluentes anaeróbios no son siempre removidos en su totalidad. Por ello se han implementado alternativas de solución siendo una de ellas el post tratamiento llamado **Esponjas Colgantes de Flujo Descendente**, (D.H.S. "Downflow Hanging Sponge") realizada por la Universidad de Tecnología en Nagaoka – Japón ⁽¹⁾, y que vienen siendo estudiadas en Brasil a la fecha.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

I.2. PROBLEMA A INVESTIGAR

El efluente proveniente de los reactores U.A.S.B. es un agua que aún no tiene la calidad óptima para ser vertida en los cuerpos receptores (ríos, lagos, mares) así como reutilizarlas para riego de parques y jardines debido a que contiene materia orgánica que no ha sido removido en su totalidad por el reactor U.A.S.B.

Para el caso del Reactor U.A.S.B. ubicado en CITRAR de la Universidad Nacional de Ingeniería el efluente del Reactor U.A.S.B. se caracteriza principalmente por tener una turbiedad, color, sólidos suspendidos, nutrientes, carga orgánica, entre otros. Este es un problema que debemos solucionar a través de la investigación para ver cómo podría implementarse este sistema de Reactor D.H.S. novedoso en la actualidad, como alternativa de post tratamiento y mejora de la calidad del efluente del Reactor U.A.S.B.

I.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

- H1. El Reactor D.H.S. es un sistema de post tratamiento al U.A.S.B. que permite una gran remoción de contaminantes presente en el efluente del Reactor U.A.S.B.

I.4. JUSTIFICACION

Conforme a la bibliografía revisada a la fecha, en nuestro país, no se han desarrollado investigaciones de Reactor D.H.S. como post tratamiento de Reactor U.A.S.B. Por lo tanto es importante conocer las ventajas y desventajas del uso del Reactor D.H.S. y de esta manera saber en cuánto puede contribuir dicha investigación para aplicar este sistema como alternativa de solución a través del post-tratamiento de U.A.S.B.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Además, la implementación de esta tecnología en países en vías de desarrollo tiene un costo menor en la instalación y es un diseño menos complejo frente a otras alternativas de post- tratamiento de un sistema anaerobio. Porque no requiere muchos equipos de última tecnología para su funcionamiento hablando en términos de equipamiento, resultando así una mayor simplicidad en la operación y mantenimiento.

I.5. DEFINICION DE TERMINOS

- **Agua Residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- **Anaerobio:** Condición en la cual no hay presencia de oxígeno o aire.
- **Aerobio:** Condición en la cual hay presencia de oxígeno o aire.
- **Afluente:** Agua no tratada proveniente de desagües de tipo doméstico o industrial.
- **Coliformes fecales:** La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

Los coliformes son bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0.5^\circ \text{C}$ (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a $44,5 \pm 0,2^\circ \text{C}$, en 24 horas, se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termotolerantes).

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- **DBO₅:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, definida por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos, mientras se estabiliza la materia orgánica putrescible, bajo condiciones aerobias, de tiempo y temperatura específicos (5 días y a 20°C).
- **Digestión Anaerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo en ausencia de oxígeno.
- **D.H.S.:** Esponjas Colgantes de Flujo Descendente.
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno, que expresa la cantidad de oxígeno consumida por los cuerpos reductores en un agua sin intervención de los microorganismos.
- **Efluente tratado:** agua tratada que sale del Reactor D.H.S.
- **Infiltración:** corresponde a la disposición de un efluente sobre o bajo el suelo, por ejemplo de una PTAR, para que penetre en las capas inferiores del mismo.
- **Manejo de residuos:** todas las operaciones a las que se somete un residuo luego de su generación, incluyéndose entre otras, su almacenamiento, transporte y eliminación.
- **Parámetro:** Valor numérico o dato fijo que se considera en el estudio o análisis de una característica, se refiere a una característica física, química y/o biológica de un efluente.
- **pH:** Logaritmo de signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno expresado en moles por litro.
- **Planta de Tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- **Reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos:** Reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente, cuyas siglas en inglés son **Reactor U.A.S.B** significan **Upflow Anaerobic Sludge Blanket**. Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales, en el cual el desecho circula en forma ascendente a través de un manto de lodos o filtro, para la estabilización parcial de la materia orgánica. El agua tratada en el

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

proceso fluye por la parte superior y normalmente se obtiene gas como producto. También se denomina R.A.F.A. (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente) pero esta denominación es incorrecta.

- **Reutilización:** recuperación de residuos o de materiales presentes en ellos para ser utilizados en su forma original o previa transformación como materia prima sustitutiva en el proceso productivo que le dio origen.
- **Residuo o desecho:** sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.
- **SST:** Sólidos suspendidos Totales
- **SSV:** Sólidos Suspendidos Volátiles
- **ST:** Sólidos totales.
- **STV:** Sólidos totales volátiles.
- **Tratamiento de residuos:** todo proceso destinado a cambiar las características físicas y/o químicas de los residuos, con el objetivo de neutralizarlos, recuperar energía o materiales o eliminar o disminuir su peligrosidad.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO II: MARCO TEORICO

II.1 ASPECTOS GENERALES

II.1.1. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS

Se origina principalmente en la vivienda y el comercio, son las aguas residuales de centros urbanos. Las variaciones existentes en la composición de las aguas residuales, están en función de las condiciones socioeconómicas de la población, el clima y otros factores típicos de cada localidad. Generalmente las aguas residuales presentan altas concentraciones de cloruros, sulfatos, nitrógeno, fósforo, sólidos y materia orgánica.

En la tabla N° 2.1, se muestran los principales contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Tabla N° 2.1. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

Contaminantes	Razón de la importancia
Sólidos en suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar a al desarrollo de depósitos de fango y de condición anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar en entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si se descargan el entorno sin tratar su estabilización biología puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguada conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los hallan presentes en el agua residual.
Metales pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua de suministros como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deban eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

II.1.2. COMPOSICION DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA

De la misma manera que en las aguas naturales, se miden principalmente en las aguas residuales las características físicas, químicas y biológicas, para establecer las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos del tratamiento que resultarán más eficaces y económicos.

Van Haandel y Lettinga (1994) sostienen que los constituyentes más importantes de los residuos líquidos confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables. Según Alaerts (1995), la composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente.

Las aguas residuales consisten básicamente en agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (menos del 0.1% en peso), pero representan el mayor problema a nivel de tratamiento. El agua provee únicamente el volumen y el transporte de los sólidos (Sterling, 1987).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Tabla N° 2.2 Composición típica del agua residual doméstica

CONTAMINANTES	UNIDADES	CONCENTRACION		
		DEBIL	MEDIA	FUERTE
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20
DBO ₅ , 20° C	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
DQO	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	N.º/100ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles	Mg/l	<100	100 - 400	>400

Leyenda: ^a Los valores se deben aumentar en la cantidad que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro.

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

II.1.2.1. Características físicas del agua residual

Sólidos Totales

Se define el contenido de sólidos totales a la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de 103 -105 °C. Estas se encuentran en suspensión, coloidales y disueltos.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Los sólidos sedimentables son una medida de sólidos asentados al fondo de un cono Imhoff, en un periodo de una hora y representan la cantidad de lodo removible en la sedimentación primaria; se expresan en ml/lt/hora.

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere para su remoción oxidación biológica, o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada.

Los sólidos volátiles representan la fracción orgánica de los sólidos, los cuales se volatilizan a temperaturas de 550 ± 50 °C. Los residuos de calcinación se conocen como sólidos fijos y constituyen la porción inorgánica o mineral de los sólidos.

Los sólidos contenidos en aguas residuales se oxidan consumiendo el oxígeno disuelto en el agua, sedimentan al fondo de los cuerpos receptores donde modifican el hábitat natural y afectan la biota acuática.

Olores

En relación al punto anterior, es necesario analizar el impacto del olor, referido a las aguas residuales. El agua residual reciente tiene un olor característico desagradable, mientras que el agua residual séptica posee un olor muy ofensivo debido a la generación de sulfuro de hidrogeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos en condiciones anaerobias. Otros compuestos como indol y mercaptanos formados bajo condiciones anaerobias también producen olores ofensivos. Los olores de las aguas residuales constituyen una de las principales objeciones ambientales, y su control en plantas de tratamiento es muy importante. Entre los problemas atribuibles a los olores ofensivos se señalan pérdida de apetito, menor consumo de agua, dificultades respiratorias, náuseas, vómitos, etc.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser más cálida que el agua de abastecimiento, debido principalmente a la incorporación de aguas calientes provenientes de las casas e industrias.

La temperatura es un parámetro muy importante en las plantas de tratamiento de aguas residuales por su efecto sobre las operaciones y procesos de tratamiento ya que modifica la concentración del oxígeno disuelto y las velocidades de las reacciones químicas y de la actividad bacterial. Así también la temperatura del agua residual puede alterar la vida acuática de un cuerpo de agua receptor.

La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénicas es muy lenta, y a temperatura de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. (Jairo Romero, Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño).

La densidad, viscosidad y tensión superficial disminuyen al aumentar la temperatura, o al contrario cuando esta disminuye, estos cambios modifican la velocidad de sedimentación de partículas en suspensión y la transparencia de oxígeno en procesos biológicos de tratamiento.

Turbiedad

Es una medida óptica del material suspendido en el agua. Las aguas residuales crudas son en general turbias; en aguas residuales tratadas puede ser un factor importante de control de operación, ya que la turbidez refleja la calidad del efluente en relación al material residual en suspensión coloidal.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Ph

El pH es un parámetro considerado como físico-químico, en las aguas residuales domésticas el rango de pH varía entre 6.5-8.0.

En las plantas de tratamiento es un parámetro de operación importante, ya que su variación puede modificar la composición biológica de las aguas residuales (tratamiento biológico) y así también puede alterar el efecto de los compuestos químicos adicionados para el tratamiento (tratamiento químico).

El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9. Las aguas residuales con valores de pH fuera de este rango (aguas residuales industriales) son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos.

II.1.2.2. Características químicas de las aguas residuales

Los constituyentes químicos de las aguas residuales son con frecuencia clasificados como en inorgánicos y orgánicos.

- **Compuestos Inorgánicos**

Los compuestos inorgánicos agregados a las aguas durante su uso son:

Sales, generalmente se encuentran en solución y contribuyen a aumentar la salinidad del agua. El aumento de sales disueltas durante cada uso del agua puede alcanzar los 300-350 mg/lit. (Cubillos A., 1980)

Nutrientes, el nitrógeno agregado en las proteínas principalmente y el fósforo en compuestos orgánicos y los detergentes son nutrientes que promueven el crecimiento de organismos productores autótrofos en aguas receptoras de desechos. Las aguas residuales

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

domésticas e industriales son ricas en nutrientes. El nitrógeno y el fósforo, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Debido que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesita conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la tratabilidad del agua residual mediante procesos biológicos.

Trazas de elementos, minerales como el hierro, calcio, potasio, cobre, sodio, magnesio, etc. son esenciales a la actividad microbiana. En ocasiones especialmente en desechos industriales, hay deficiencia de uno o más de estos elementos y la actividad microbiológica es inhibida. En el tratamiento de desechos de industrias es importante conocer cual o cuales micro-elementos son deficientes.

Tóxicos, afectan a los microorganismos y a los procesos de tratamiento y provienen de productos farmacéuticos, químicos y biocidas. Algunos tóxicos comunes como plomo, cromo, zinc, mercurio, cianuro, ácidos, derivados del petróleo y biocidas.

Alcalinidad es una medida de su capacidad de neutralizar ácidos. Las aguas residuales domésticas son generalmente alcalinas, concentraciones de 50-200 mg/l-CaCO₃ son comunes. En las aguas residuales la alcalinidad se debe a la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o de ion amonio. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento de aguas residuales.

- **Gases**

En aguas residuales los gases son producto de la descomposición biológica de la materia orgánica, los gases en aguas residuales son:

Oxígeno Disuelto, se disuelve desde la atmósfera y de la actividad fotosintética de algas. Existe muy poco oxígeno disuelto en el desagüe fresco y ninguno en aguas residuales sépticas.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Dióxido de Carbono (CO₂), la concentración es función del pH y el equilibrio químico del agua, también se encuentran monóxido de carbono (CO). El CO₂ en aguas es producido durante la respiración de microorganismos en aguas residuales y como producto de la descomposición biológica.

Metano (CH₄), de la descomposición anaerobia de materia orgánica. Se encuentra en condiciones anaerobias donde hay descomposición en condiciones anóxicas.

Amoniaco (NH₃, NH₄), las distribuciones dependen del pH de las aguas. Valores altos del pH favorecen la presencia del gas NH₃, especialmente por encima del 9. Es resultado de la descomposición biológica de compuestos nitrogenados.

Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), alteran el pH de las aguas y producen corrosión de los alcantarillados. El H₂S se produce en condiciones anaeróbicas cuando predomina la formación de ácidos y no hay producción de metano.

- **Compuestos Orgánicos**

Los constituyentes orgánicos comprenden un número de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada.

La materia orgánica de las aguas residuales es una combinación de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (CHON), principalmente; con las proteínas (40-60%), los carbohidratos (25-50%) y las grasas y aceites (10%) como grupos más importantes.

La demanda bioquímica de oxígeno, (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Normalmente se mide transcurridos 5 días (DBO₅) y se expresa en mg O₂/litro.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos, acuíferos, etc.), aguas residuales o cualquier agua que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. No es aplicable para las aguas potables debido al valor tan bajo que se obtendría, utilizándose en este caso el método de oxidabilidad con permanganato potásico. El método mide la concentración de los contaminantes orgánicos.

Sin embargo, puede haber interferencias debido a que haya sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas también por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-aliltiourea como inhibidor.

II.1.2.3. Características Biológicas del agua residual

En general las características biológicas de aguas residuales se miden en pruebas para organismos indicadores como el NMP y conteo total de bacterias.

El grupo coliforme incluye todas las bacterias aerobias y facultativas anaerobias, Gram negativas, que no forman esporas, en forma de cilindro que fermentan la lactosa con formación de gas dentro de 48 y 35°C. La definición anterior incluye Escherichia coli y otras Escherichias, Enterobacter Aerógenes y otros.

II.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERU

II.2.1. DIAGNOSTICO SITUACIONAL DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES EN EL PERU

La SUNASS, en ejercicio de su función supervisora y fiscalizadora de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), cuenta con un inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales al 2007, su estado de operación y mantenimiento y la calidad del servicio que prestan. Esa información ha sido recopilada en las inspecciones de campo que los ingenieros especialistas en supervisión y fiscalización de la SUNASS han llevado a cabo en las empresas reguladas e información complementaria remitida por las EPS en el año 2007.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Sobre esa base se ha identificado que en las EPS los principales problemas en la gestión de las aguas residuales son: a) El déficit de cobertura de tratamiento y b) la ineficiencia operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Las causas directas e indirectas de este problema, así como las consecuencias que acarrea, se listan a continuación:

- **Principales causas:**

- ✓ Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú.
- ✓ Déficit de financiamiento para el tratamiento de las aguas residuales.

- **Principales consecuencias:**

- ✓ Incumplimiento de los objetivos de calidad de las PTAR.
- ✓ Bajo volumen de aguas residuales tratadas.

II.2.1.1 Insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú

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, como se muestra en el Gráfico 2.1.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

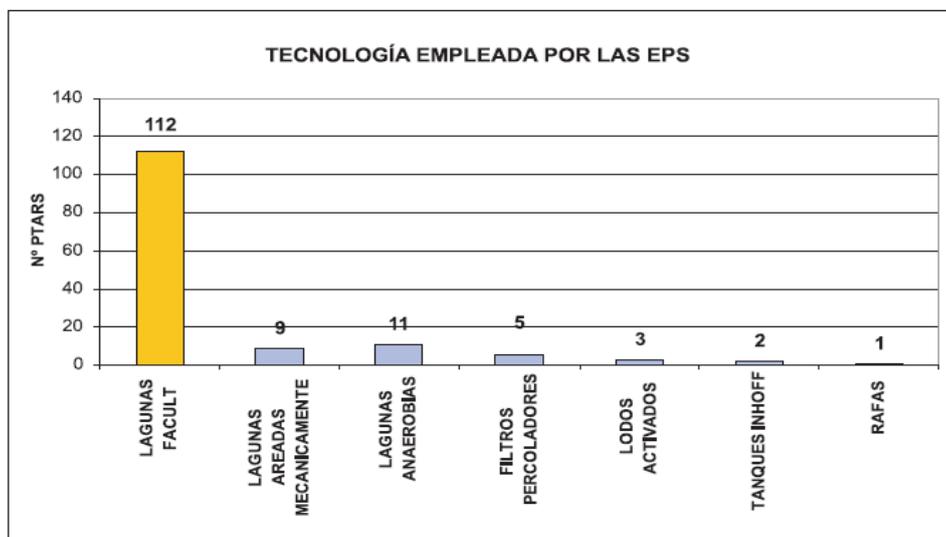


Gráfico N° 2.1. Inventario de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

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

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). Vale la pena mencionar que la única planta de lodos activados de tipo secuencial (SBR) es la de Puente Piedra y la administra SEDAPAL.

Cuadro N° 2.1. PTAR con tecnología distinta de las lagunas de estabilización

NOMBRE EPS	LOCALIDAD	NOMBRE PLANTA
PTARS CON FILTRO PERCOLADORES		
EPSASA	HUAMANGA	LA TOTORA
EPSASA	HUANTA	CARLOS LA TORRE
SEDAPAL S.A.	SANTA ROSA	PTAR SANTA ROSA
SEDAPAR S.A.	AREQUIPA METROPOLITANA	PTAR CHIQUILPINA
EPS - SEDACUSCO S.A.	CUSCO	SAN JERONIMO
PTARS CON LODOS ACTIVADOS		
SEDAPAL S.A.	PUENTE PIEDRA	PTAR PUENTE PIEDRA
SEDAPAL S.A.	EL AGUSTINO	PTAR NUEVA SEDE ATARJEA
SEDAPAL S.A.	SAN JUAN DE LURIGANCHO	PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO
PTARS CON RAFA (UASB)		
SEDAPAL S.A.	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	PTAR JOSE GALVEZ

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

Las 10 PTAR más grandes administradas por las EPS se indican en el Cuadro N° 2.2

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Cuadro Nº 2.2. PTAR más grandes del Perú

RANKING	NOMBRE EPS	LOCALIDAD	NOMBRE PLANTA	TIPO GENERICO	Qmax (l/s)
1	SEDAPAL S.A.	LURIN	PTAR SAN BARTOLO	LAM	1,700.00
2	SEDALIB S.A.	TRUJILLO	PTAR COVICORTI	LAM	880.00
3	SEDAPAL S.A.	SAN JUAN DE MIRAFLORES	PTAR SAN JUAN	LAM	800.00
4	EPSEL S.A.	CHICLAYO	PTAR 2 - CHICLAYO (SAN JOSE)	LAN	618.00
5	EPSASA	HUAMANGA	LA TOTORA	FP	536.00
6	SEDAPAL S.A.	ATE - VITARTE	PTAR CARAPONGO	LAN	500.00
7	SEDAPAL S.A.	PUETE PIEDRA	PTAR PUENTE PIEDRA	LACT - SBR	422.00
8	EMAPICA S.A.	ICA	CACHICHE	LF	411.00
9	EPS GRAU S.A.	SULLANA	EL CUCHO	LF	380.00
10	SEDACUSCO S.A.	CUSCO	SAN JERONIMO	FP	320.00

Leyenda: LAM: Lagunas Aireadas Mecánicamente, FP: Filtros Percoladores, LACT: Lodos Activados, LF: Lagunas Facultativas, LAN: Lagunas Anaerobias, SBR: Secuencia Bach Reactor.

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

La mayoría de las EPS invierten en la construcción de PTAR con lagunas de estabilización del tipo facultativo por el bajo costo de inversión, operación y mantenimiento y a la elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica en comparación con otras tecnologías.

Sin embargo, cuando existen limitaciones para la disponibilidad de terreno, la PTAR está dentro de la zona urbana con espacios limitados o la caracterización y las condiciones climatológicas lo exigen, es necesario usar otras tecnologías de eficiencia comparable pero que tienen mayores costos de inversión, operación y mantenimiento, como los filtros percoladores, los lodos activados y los RAFA, a los que hay que adicionar procesos de tratamiento avanzado como la precipitación química y la cloración para remover los quistes de nematodos intestinales y reducir la carga bacteriana, respectivamente.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

II.2.1.2 Déficit de financiamiento en tratamiento de aguas residuales

Tal como se ha señalado, existe un déficit de inversiones en el tratamiento de aguas residuales domésticas. El mayor peso del financiamiento recae en la participación del sector privado (31%). Sin embargo, a la fecha solo existen dos iniciativas privadas para el financiamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales: La Taboada (14 m³/seg) y La Chira (8 m³/seg). Es un hecho que toda inversión en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales que no cuente con el necesario respaldo económico para sufragar sus costos de operación y mantenimiento está destinado al fracaso.

II.3 TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales de todo tipo, implica un conjunto de procesos unitarios, que utilizados de manera eficiente y adecuada nos permitirán obtener efluentes tratados con posibilidades de reuso o simplemente con un porcentaje mucho menor de nocividad para el medio ambiente y cuerpos de agua.

Para la obtención de dicho objetivo se pueden distinguir hasta cuatro etapas de tratamiento que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

- **Tratamiento Preliminar**, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
- **Tratamiento Primario**, que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
- **Tratamiento Secundario**, que comprende procesos biológicos aerobios, anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.

- **Tratamiento Terciario o Avanzado**, que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

II.3.1. Tratamiento Preliminar

▪ Rejas

Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, cuya finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente largas que estén en suspensión o flotantes. Las rejas, por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento. Este proceso nos permite proteger contra obstrucciones las válvulas, bombas, equipos de aireación, tuberías y otras partes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

El tipo de reja es definido por el espaciamiento libre existente entre las barras, que dependen de la finalidad que se pretenda lograr:

- Rejas Gruesas: 40 hasta 100 mm o más
- Rejas Medias: 20 hasta 40 mm
- Rejas Finas: 10 hasta 20 mm
- Rejas Rotativas Finas: 0.25 a 2.5 mm

Las rejas finas por los problemas de operación que presentan suelen ser mecanizadas.

▪ Desmenzadores

Son raramente utilizados por presentar numerosos problemas por lo que son empleados a veces en conjugación con rejas mecánicas. La presencia de ciertos detritos resistentes provoca la intervención frecuente de los operadores. Los desmenzadores están constituidos por una pieza rotativa con ranuras horizontales de 6 a 10 mm de apertura, equipados internamente con cortadores especiales. Para la protección de las partes mecánicas del mismo es recomendable su instalación aguas debajo de los desarenadores.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- **Desengrasadores**

Solo son empleados ante la presencia de desechos industriales conteniendo grandes cantidades de aceites y grasas, y previo al lanzamiento submarino de aguas residuales.

Los desengrasadores deben propiciar una permanencia tranquila del agua residual durante el tiempo suficiente para que una partícula a ser removida pueda recorrer la trayectoria entre el fondo y la superficie.

- **Tanques de Compensación**

Estos tanques sirven para disminuir los efectos de la gran variación del caudal o de concentración de las aguas residuales. Son poco empleadas en PTAR domésticas, a no ser en dos casos, a) Cuando hay contribuciones industriales intermitentes, con gran variación de caudal, b) Para aumentar la capacidad de una planta existente, con unidades dimensionadas por el caudal máximo.

- **Desarenadores**

Los desarenadores son unidades destinadas a retener la arena y otros detritos minerales inertes y pesados que se encuentran en las aguas residuales. Estos materiales son originados de operaciones de lavado, infiltraciones, desechos industriales, etc.

Los desarenadores pueden ser diseñados como canales con velocidad controlada o como tanques de sección cuadrada o circular y de área adecuada y de la sedimentación de las partículas a remover. Pueden ser equipados con mecanismos especiales, sin embargo esto es utilizado en plantas de tratamiento de grandes caudales.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Generalmente se prevé la construcción de dos desarenadores en paralelo, de modo que el retiro de una unidad de operación, para limpieza o reparación, no impida el trabajo de la otra aunque sobrecargada.

II.3.2. TECNOLOGIAS DISPONIBLES COMO TRATAMIENTO PRIMARIO

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.

- **Sedimentación**

El primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales después de las procedentes fases preliminares es, generalmente, la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65% de los sólidos finamente divididos, se pose en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos.

La sedimentación primaria es una operación unitaria diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual.

Su diseño y operación fueron determinantes en la reducción de las cargas de desechos que se disponían en los cuerpos receptores.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

En la actualidad, los requerimientos de tratamiento a nivel secundario han otorgado a la sedimentación primaria un rol menor. No obstante, muchos de los procesos unitarios de tratamiento secundario son capaces de manejar los sólidos orgánicos solo si se ha llevado a cabo una buena remoción de arena y escoria durante el tratamiento.

La mayor parte de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales son de naturaleza pegajosa y flocculan en forma natural. Las operaciones de sedimentación primaria son esencialmente del tipo 2 sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y floculación (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Tipos de Sedimentación que intervienen en el tratamiento del agua residual

Tipo de fenómeno de sedimentación	Descripción	Aplicación / Situaciones en que se presenta
De partículas discretas (Tipo 1)	Se refiere a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidad individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas.	Eliminación de las arenas del agua residual
Floculenta (Tipo 2)	se refiere a una suspensión bastante diluidas de partículas que se agregan, o flocculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.	Eliminación de una fracción de los sólidos e suspensión del agua residual bruta en el tanque de sedimentación primaria, y en la zona superior de los decantadores secundarios. También elimina los flóculos químicos de los tanques de sedimentación
Retardada, también llamada zonal (Tipo 3)	Se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas, y la masa de partículas sedimenta como una unidad. se	Se presenta en los tanques de sedimentación secundaria empleados en las instalaciones de tratamiento biológico.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

	desarrolla una interfase sólido - líquido en la parte superior de la masa que sedimenta.	
Compresión (Tipo 4)	Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura, y la sedimentación solo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.	Generalmente, se produce en las capas inferiores de una masa de fango de gran espesor, tal como ocurre en el fondo de los decantadores secundarios profundos y en las instalaciones de espesamientos de fango.

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares.

En los tanques rectangulares, la espuma se retira utilizando unas rastras de lodo que, de manera alternada, después de recorrer el tanque por el fondo, regresan a su punto de partida recorriendo la superficie del agua, lo que se aprovecha, como se dijo para remover la espuma. El materia flotante se desplaza de esta manera hasta un sitio donde se colecta, ubicado a cierta distancia hacia atrás del vertedor del efluente, y allí es retirado al pasar sobre un vertedor de espuma o por medio de una rastra transversal.

Por su parte, los tanques circulares cuentan con un brazo desnatador que está unido a la rastra de lodos. A diferencia de los tanques rectangulares, cuyo flujo es horizontal, en los tanques circulares es de tipo radial. El agua a tratar se introduce por el centro o por la periferia del tanque. El sistema de alimentación central es el más usado; no obstante, ambas configuraciones producen buenos resultados.

- **Flotación**

La flotación es un proceso de separación líquido-sólido utilizando para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Como la

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

mayoría de los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales tiene un peso específico cercano a 1.0, la adhesión de las burbujas de aire a los sólidos, o su entrapamiento al interior del floc, hacen que las partículas floten fácilmente.

Se logra que los sólidos en suspensión floten a la superficie del tanque cuando se aplican presiones en el rango de 2.8- 4.2 Kg./cm², bien sea a las aguas residuales directamente o al efluente recirculante del tanque de flotación. Dichas presiones deben aplicarse en presencia de exceso de aire. El aire se disuelve en el agua a dichas presiones y luego se desprende de la solución de aguas residuales cuando se descarga la mezcla a presión en el fondo del tanque de flotación. El desprendimiento del aire ocurre en la forma de finas burbujas las cuales se adhieren o quedan inmersas en los sólidos suspendidos. La mezcla partículas-aire asciende entonces a la superficie del tanque de donde se remueven los sólidos mediante un mecanismo recolector de lodos.

Los principales componentes de un proceso de flotación son el compresor de aire, un tanque de retención donde almacenan las aguas residuales presurizadas, una válvula reductora de presión y el tanque de presión propiamente dicho. El proceso puede realizarse bien inyectando el aire directamente a las aguas residuales crudas, o bien al efluente recirculado del tanque de flotación, el cual se mezcla con las aguas residuales crudas.

- **Precipitación Química**

Es un tipo de tratamiento primario que agrupa tres procesos, como son la coagulación, floculación y sedimentación.

La coagulación, en esta etapa las fuerzas entre las partículas de los contaminantes se reducen o eliminan mediante la adición de productos químicos, lo que permite la interacción

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

de partículas mediante el movimiento molecular y la agitación física. La mezcla rápida permite la dispersión en el agua residual del producto químico utilizado en el tratamiento y promueve el choque de partículas, lo que hacen que las partículas se agrupen para formar otras de mayor tamaño, es decir la coagulación. Los productos químicos añadidos para promover dicha segregación se denominan coagulantes y tiene dos propósitos básicos, el primero de estabilizar las partículas, lo que permite la integración y lo segundo es promover la agrupación de partículas reforzando así la floculación.

La floculación, se produce después de un periodo de mezcla rápida ya que necesario disminuir la velocidad de la mezcla para que se formen flóculos más grandes. (Si la velocidad de la mezcla es alta los flóculos continúan siendo destruidos por excesivo contacto físico).

La sedimentación, debido al tamaño de las partículas sigue siendo necesaria algo de mezcla para que exista contacto entre las masas de sólidos y promover así la formación de flóculos que sedimentan rápidamente. Durante la precipitación, los sólidos se separan del líquido normalmente por sedimentación, Durante la precipitación, los sólidos se separan del líquido normalmente por sedimentación, lo que debe resultar en dos capas claramente visibles: una sólida y otra líquida, que pueden ser separadas fácilmente.

La precipitación química se realiza la mayor parte de las veces utilizando hidróxido de sodio, compuestos de sulfato (alumbre o sulfato férrico) o sulfuros (sulfuro de sodio o sulfuro de hierro). La adición de estos compuestos a aguas residuales portadores de metales forma hidróxido de metal o sulfuros de metal respectivamente, y la solubilidad en el agua de estos es limitada.

Esta técnica se utiliza para remover la mayoría de los metales de las aguas residuales, y algunas especies aniónicas como sulfato y fluoruro. Los compuestos orgánicos en las aguas residuales pueden formar complejos de metal y reducir la eficacia de este tipo de

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

tratamiento, en cuyo caso probablemente se necesite realizar estudios a nivel laboratorio o de proyecto piloto para determinar los métodos de tratamiento apropiados para romper el complejo y hacer que se precipite el metal. Frecuentemente este problema puede resolverse utilizando mejores técnicas de separación de residuos.

II.3.3. TECNOLOGIAS DISPONIBLES COMO TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

- **U.A.S.B.**

El reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente (RAFA), mejor conocido por sus siglas en inglés UASB, desarrollado por Lettinga y colaboradores en la década de los setenta, ha tenido gran auge en los últimos años, aplicado tanto para altas cargas orgánicas, correspondientes a líquidos residuales industriales, como para bajas cargas orgánicas, entre las que se encuentran las aguas residuales domésticas.

Algunas de las características, además de las tradicionales de los sistemas anaerobios, son su bajo costo, simplicidad de construcción y operación, facilidad para manejar distintos tipos de afluente, formación de un lodo granular con muy baja tasa de producción y buenas características de sedimentación, entre otras (Hulshoff y Lettinga, 1986).

Con base en las experiencias llevadas a cabo bajo diferentes condiciones, tanto ambientales como de alimentación, los parámetros fundamentales a considerar en el diseño de reactores UASB son: carga orgánica aplicada y velocidad de ascenso de líquido. Estos parámetros varían en importancia dependiendo del tipo de afluente a tratar; para aguas residuales concentradas el factor determinante es la carga orgánica aplicada, mientras para aguas residuales diluidas, la velocidad de ascenso del líquido y la altura de agua en el digestor son las variables a considerar (Souza, 1986).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- **Tanque Imhoff**

Los tanques Imhoff son unidades compactas de tratamiento de aguas residuales en las cuales se combinan los procesos de sedimentación y de digestión anaeróbica de los sólidos suspendidos removidos.

Su desarrollo se produjo en la búsqueda del mejoramiento en las condiciones de funcionamiento de los tanques sépticos en los cuales la eficiencia del proceso se ve seriamente afectada porque en una misma cámara se realizan los procesos de sedimentación y digestión.

La finalidad y uso de los tanques Imhoff son las mismas que las de un proceso de tratamiento primario, pues los niveles de remoción de sólidos suspendidos y de DBO son bajos comparados con los niveles logrados en los sistemas más completos de tratamiento biológico.

- **Lodos activados**

El lodo activado es un proceso de tratamiento por el cual el agua residual y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque denominado reactor. Los flóculos biológicos formados en este proceso se sedimentan en un tanque de sedimentación, lugar del cual son recirculados nuevamente al tanque aireador o reactor.

La reducción de la DBO y sólidos en suspensión en el proceso convencional del lodo activado que incluye predecantación y sedimentación final, puede variar desde 80 a 95% y la reducción de las bacterias coliformes de 90 a 95%. Además, el costo de construcción de una planta de lodo activado puede ser competitivo con otros tipos de plantas de tratamiento que producen resultados comparables. Sin embargo, los costos unitarios de operación son relativamente altos. El método de lodo activado es un tratamiento biológico secundario que emplea la oxidación para descomponer y estabilizar la materia putrescible que queda después de los tratamientos primarios.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Se usan diversas modificaciones para el método de lodo activado, para mejorar el funcionamiento o disminuir los costos. Entre éstos se incluyen la aireación modificada, activada, en punta y por pasos o fases.

La Aireación Modificada, disminuye el período de aireación a tres horas o menos, y mantienen el lodo retomado a una baja proporción. Los resultados son intermedios entre la sedimentación primaria y un tratamiento secundario completo.

La Aireación Activada, los tanques de aireación se colocan en paralelo. El lodo activado, procedente de un tanque de sedimentación final o grupos de dichos tanques, se añade al influente de los tanques de aireación. El resto del lodo se concentra y se quita. Los resultados son mejores que con la aireación modificada y con menos aire.

La Aireación en Punta difiere de la aireación normal en que los difusores de aire no están uniformemente espaciados. En su lugar, se colocan más difusores cerca del extremo de entrada de los tanques de aireación que cerca de la salida.

La teoría pretende que la demanda de oxígeno es mayor cerca de la entrada y por lo tanto, la eficiencia del tratamiento debe mejorar si se suministra allí más aire. Sin embargo los resultados dependen del grado de mezclado longitudinal, proporción del retorno de lodo y las características de materia recirculada, por ejemplo, el contenido del aire del lodo o del licor mezclado.

La Aireación por Pasos o Fases, se añaden las aguas negras en cuatro o más sitios del tanque de aireación. Cada incremento reacciona con el lodo que ya se encuentra en el tanque. Por consiguiente, los requisitos de aire casi son uniformes en todo el tanque. La aireación por mezcla completa obtiene mejores resultados dispersando el influente de agua del desecho tan uniformemente como sea posible, a lo largo de la longitud total del tanque de aireación, de manera que se produzca una demanda uniforme de oxígeno a todo lo largo.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

▪ Filtros Biológicos

El proceso de filtración biológica puede definirse como un sistema de lechos compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos, de alta relación área/volumen, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales de manera continua.

Hay variedades de Biofiltros uno de ellos es el biofiltros aireado sumergido, el cual es un Biofiltro que se encuentra sumergido en un tanque por el que fluye agua residual, por lo que todo el medio filtrante se encuentra totalmente dentro del agua, inyectándose aire al tanque para que se desarrolle el proceso aerobio. El aire que se suministra por el fondo del tanque, asciende entre las separaciones del lecho y entra con contacto con los microorganismos que forman la película biológica.

El aire proporciona el oxígeno requerido para la respiración endógena de los microorganismos y para la oxidación de la materia orgánica que toman como alimento. Originalmente los filtros eran diseñados basados en cargas hidráulicas y orgánicas que produjeran una remoción el 80 – 90% de la DBO del afluente. En la actualidad los sistemas de filtros percoladores pueden clasificarse como filtros convencionales o de tasa baja, filtros de tasa intermedia, filtros de tasa alta y filtros de tasa súper alta.

▪ Lagunas de Estabilización

La tecnología de lagunas de estabilización es uno de los métodos naturales más importantes para el tratamiento de aguas residuales. Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservorios artificiales, que comprenden uno o varias series de lagunas

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) y parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO). La etapa secundaria en la laguna facultativa remueve la mayoría de la fracción remanente de la DBO soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas.

El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduración es la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno).

Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costo-efectiva para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural. Las lagunas de estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación.

Lagunas Anaerobias, se emplean generalmente como primera unidad de un sistema cuando la disponibilidad de terreno es limitada o para el tratamiento de aguas residuales domésticas con altas concentraciones y desechos industriales, en cuyo caso pueden darse varias unidades anaerobias en serie. No es recomendable el uso lagunas anaerobias para temperaturas menores de 15°C y presencia de alto contenido de sulfatos en las aguas residuales (mayor a 250 mg/l.)

Debido a las altas cargas de diseño y a la reducida eficiencia, es necesario el tratamiento adicional para alcanzar el grado de tratamiento requerido. En el caso de emplear lagunas facultativas secundarias su carga orgánica superficial no debe estar encima de los valores límite para lagunas facultativas. Por lo general el área de las unidades en serie del sistema no debe ser uniforme.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Lagunas Facultativas, es un estanque cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias en presencia de oxígeno y en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia. Su ubicación como unidad de tratamiento en un sistema de lagunas debe ser:

- Como laguna única (caso de climas fríos en los cuales la carga de diseño es tan baja que permite una adecuada remoción de bacterias) o seguida de una laguna secundaria y terciaria (normalmente referida como laguna de maduración), y
- Como una unidad secundaria después de lagunas anaerobias o aeradas para procesar sus efluentes a un grado mayor.

Lagunas Aeradas, se emplean generalmente como primera unidad de un sistema de tratamiento en donde la disponibilidad del terreno es limitada o para el tratamiento de desechos domésticos con altas concentraciones o desechos industriales cuyas aguas residuales sean predominante orgánicas. El uso de las lagunas aeradas en serie no es recomendable.

▪ Discos Rotatorios

Son unidades que tienen un medio de contacto colocados en módulos discos o módulos cilíndricos que rotan alrededor de su eje. Los módulos discos o cilíndricos generalmente están sumergidos hasta 40% de sus diámetro, de modo que al rotar permiten que la biopelícula se ponga en contacto alternadamente con el afluente primario y con el aire. Las condiciones de aplicación de este proceso son similares a las de los filtros biológicos en los que se refiere a eficiencia.

Necesariamente al tratamiento previo a los sistemas biológicos de contacto será: cribas, desarenadores y sedimentador primario.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Los módulos rotatorios pueden tener los siguientes medios de contacto:

- Discos de madera, material plástico o metal ubicados en forma paralela de modo que provean una alta superficie de contacto para el desarrollo de la biopelícula.
- Mallas cilíndricas rellenas de material liviano.

El efluente de estos sistemas debe tratarse en un sedimentador secundario para separar la biomasa proveniente del reactor biológico. Los criterios de diseño de esta unidad son similares a los de sedimentador secundario de filtros biológicos.

II.3.4. TECNOLOGIAS DISPONIBLES COMO TRATAMIENTO TERCIARIO

La reutilización de agua residual mediante tratamientos terciarios es una buena alternativa para el ahorro de agua y reducir considerablemente el consumo. Para ello es fundamental adecuar el agua de salida de la depuradora a unos parámetros adecuados para su uso con otros fines como el riego del jardín, debido a que, fundamentalmente, el agua depurada presentará cierto contenido bacteriológico y por lo tanto necesita ser desinfectada. Fundamentalmente se cuentan con tres métodos de desinfección de agua que pueden ser complementados con una filtración apropiada estudiando cada caso concreto por separado en función del tipo de agua residual y las necesidades concretas.

▪ Sistema de Cloración

Existen varias formas de cloración del depósito que pueden pasar por un sistema automático de medición y control de la dosificación de cloro libre en el depósito mediante

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

sonda de cloro libre o de redox o dosificación de cloro proporcional al caudal de agua depurada mediante la instalación de un contador- emisor de impulsos. La cloración del agua residual es el sistema más sencillo y económico para un tratamiento terciario de reutilización de agua para riego de jardines y plantas. Como desventaja cabe destacar el hecho de que requiere el empleo y manipulación de un producto químico como el hipoclorito de sodio. Además ciertas plantas ornamentales, hortalizas o cultivos frutícolas pueden ser susceptibles a ser dañadas. También cabe destacar que este sistema supone siempre el empleo de un depósito exclusivo para realizar la cloración ya que siempre es necesario un tiempo de contacto adecuado del agua clorada para asegurar la desinfección.

El cloro es un oxidante poderoso, es el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente.

Ventajas:

- a) Destruye los organismos patógenos del agua en condiciones ambientales y en un tiempo corto.
- b) Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo.
- c) La determinación de su concentración en el agua es sencilla y de bajo costo.
- d) En las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.
- e) Deja un efecto residual que protege el agua de una posterior contaminación

Desventajas:

- a) Es muy corrosivo.
- b) Puede producir sabor desagradable en el agua, incluso en concentraciones que no significan riesgo para el consumidor.
- c) Su manejo y almacenamiento requiere ciertas normas de seguridad, para evitar riesgos en la salud de los operadores. El cloro, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas verde, dos y media veces más pesado que el aire.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Algunas de sus sales también tienen poder desinfectante. Las más usadas son el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio, cuya eficiencia bactericida es idéntica a la del cloro y que producen reacciones similares en el agua. Se emplean en plantas pequeñas, piscinas y pozos, pues los hipocloradores son más sencillos y económicos.

▪ Radiación Ultravioleta

En este caso la desinfección se realiza mediante un equipo UV que proporciona una desinfección inmediata y más efectiva que la cloración. Otra ventaja añadida es que no requiere de depósitos de contacto ya que la desinfección se realiza de forma instantánea mediante el paso de agua por el equipo de tratamiento ultravioleta lo que favorece este tipo de tratamiento terciario cuando no se disponga de espacio suficiente para un tratamiento con cloro o con ozono. Para asegurar el buen funcionamiento del equipo ultravioleta es necesario un correcto sistema de filtración para eliminar turbidez y asegurar una transmitancia adecuada de la radiación ultravioleta en el flujo de agua a tratar.

Ventajas:

- a) Actúa sobre una amplia gama de microorganismos, ya que los rayos Ultravioleta inactivan los ácidos nucleicos (ADN y ARN). Pueden eliminar bacterias comunes, esporulados y virus.
- b) No reacciona con los constituyentes del agua y, por tanto, no forma derivados ni cambia las condiciones organolépticas del agua.
- c) El proceso es sencillo y de bajo costo.
- d) El proceso no necesita tanques de mezcla o de contacto.

Desventajas:

- a) La penetración de los rayos en el agua está limitada por el color y la turbiedad, por lo que el agua debe ser completamente clara.
- b) Con el transcurso del tiempo, las lámparas pueden ensuciarse, lo que reducirá la capacidad de penetración de los rayos.
- c) La vida útil de las lámparas es muy limitada.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- d) Los rayos ultravioleta tienen efecto puntual, no dejan radiación residual para eliminar la contaminación posterior en la red, muy frecuente ya que a menudo se producen presiones negativas que pueden permitir el ingreso de aguas contaminadas.

▪ Ozonización

El ozono es un poderoso oxidante y desinfectante con una velocidad de esterilización superior a la de un tratamiento convencional de cloro aumentado su eficacia. Estos permiten tratamientos con ozono con tanques de contacto muy reducido ya que únicamente son necesarios unos tres minutos de tiempo de contacto para asegurar la desinfección. Además para el tratamiento de agua residual para su reutilización en riego y agricultura, el ozono aporta una mayor oxigenación a la raíz de la planta a la vez que le transmite su carácter desinfectante. Los resultados son cultivos con un crecimiento más rápido con mayor productividad y evitando plagas y enfermedades.

Ventajas del Ozono:

Se considera que el ozono es el desinfectante de mayor eficiencia microbiciida y requiere tiempos de contacto bastante cortos. Se ha demostrado que cuando el ozono es transferido al agua mediante un mezclador en línea sin movimiento, las bacterias son destruidas en dos segundos. Por ello, el tiempo de contacto en la ozonización no tiene mayor importancia.

La velocidad con que el ozono mata a las bacterias es bastante mayor que la del cloro, debido a que, si bien ambos son oxidantes, el mecanismo de acción es diferente. El ozono mata a la bacteria por medio de la ruptura de la membrana celular. Este proceso, conocido como *destrucción de células por lisina*, produce la dispersión del citoplasma celular en el agua. En cambio, el cloro debe introducirse a través de la pared celular de la bacteria y difundirse dentro del citoplasma, acción que depende en alto grado del tiempo de contacto.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Otra ventaja frente al cloro es que no imparte al agua color, olor ni sabor.

Desventaja del Ozono:

La desventaja más importante del ozono como desinfectante del agua radica en que no tiene poder residual, además de la limitada información sobre la toxicidad de sus productos derivados como los aldehídos, los ácidos carboxílicos, los bromatos, los bromometanos, las cetonas, etc.

II.4 DESCRIPCIÓN DE LA PTAR UBICADA EN CITRAR

Breve descripción de la Planta de Tratamiento de CITRAR

II.4.1. UNIDAD DE CAPTACION

La planta de tratamiento de aguas residuales CITRAR posee un sistema de funcionamiento característico organizado en unidades de tratamiento:

II.4.1.1. Unidad de Captación y Regulación de caudales

Está diseñada para un caudal máximo de 10 L/s. El desagüe ingresa por un conducto en la pared posterior de la universidad, proveniente de los asentamientos humanos EL ANGEL y EL MILAGRO.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO



Figura N° 2.01. Captación.

Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR - UNI

II.4.2. UNIDADES DE PRETRATAMIENTO

II.4.2.1. Rejas gruesas

Ubicada en la entrada del pre-tratamiento. Tiene por finalidad retener sólidos gruesos como ramas, trapos, plásticos, latas, animales muertos, bolsas, residuos de vegetales, entre otras. Está reja es de acero con inclinación de 30° y cuenta con 32 barras de 5mm de espesor con separación entre barras de 25mm.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO



Figura Nº 2.02. Rejas gruesas

Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR - UNI

II.4.2.2. Rejas finas

Ubicada aguas abajo de la cámara de rejas gruesas junto al desarenador. Está conformado por dos cámaras de rejas de acero, dispuestas en serie, con inclinación de 56° y cuenta con 19 barras de 5mm de espesor con separación entre barras de 15 mm.



Figura Nº 2.03. Rejas finas

Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR – UNI

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

II.4.2.3. Desarenadores

Esta unidad tiene por finalidad separar el material inorgánico por sedimentación a través de una velocidad controlada de 0.20 m/s por un vertedero sutor, ubicado al final del desarenador. Existen dos desarenadores de flujo horizontal, sección rectangular y con tolva de sección trapezoidal para la acumulación de arenas, los cuales trabajan alternadamente.

Desde el desarenador se extiende una tubería de PVC pesado de 8" de diámetro, a un repartidor de caudal, con dos vertederos de tipo triangular, instalado en paralelo. De este repartidor salen dos tuberías de PVC pesado de 6", que conducirán el caudal afluyente de dos distribuidores ubicados en la parte superior del reactor. Cada distribuidor es una estructura rectangular de 0.9 m de largo x 0.6m de ancho y 0.7 m de altura para permitir la distribución uniforme del caudal.



Figura N° 2.04. Desarenadores

Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR - UNI

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

II.4.3. UNIDADES DE TRATAMIENTO PRIMARIO

II.4.3.1. Reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente (RAFA - UASB)

En este Reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente se remueve la materia orgánica anaeróbicamente es decir en ausencia de oxígeno. El funcionamiento de esta unidad es de la siguiente manera: El desagüe ingresa hasta el fondo del reactor uniformemente distribuido y luego asciende a través de un manto de lodos. Este manto de gran actividad biológica degrada la materia orgánica en un medio anaerobio, generando como subproducto biogás, compuesto principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S).

i. Reactor

Es una estructura de hormigón armado de 11.4 m de largo x 8.4 m de ancho y 6m de altura. Esta última dimensión se dispone 4m de altura de digestor, 1.5 m de altura de sedimentación y 0.5m de borde libre. La abertura entre el sedimentador y el separador de fases de 20 cm. En cuanto al dispositivo de extracción de exceso de lodos, el reactor cuenta con un sifón de PVC de 8", ubicado a 1.5m del fondo que permite la evacuación de lodos. Se han previsto 4 salidas de lodos también mediante sistema de sifones de 4", para la toma de muestras de lodo ubicadas a 1m, 1.5m, 2m, y 2.5m del nivel del fondo.

ii. Cámara de gases

Se ubica en la parte superior del RAFA, tiene una altura de 30cm, una longitud de 11.4m y una ancho de 2.2 m. Esta cámara cuenta con una salida de gas de 4" para luego ser quemado.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

iii. Sistemas de recolección de agua tratada

Se ubican en la parte superior de los sedimentadores y consisten, en dos canaletas laterales de sección triangular, ubicadas en la parte interna del RAFA, y, dos canaletas laterales de sección rectangular ubicadas en la parte lateral del RAFA. Cada canaleta cuenta con vertederos colocados en toda su longitud, el desagüe de dichas canaletas desemboca en un repartidor de caudal con tres vertederos triangulares, dividiendo el caudal en tres partes iguales. De este repartidor salen tres tuberías de PVC de 6" que alimentan posteriormente la laguna secundaria.



Figura N° 2.05. Reactor Anaerobio de manto de lodos de Flujo Ascendente

Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR - UNI

II.4.3.2. Lecho de Secado de Lodos

Tiene por finalidad la deshidratación del exceso de lodos que se retiran periódicamente del RAFA. Cuando el lodo húmedo es descargado al lecho, el agua es removida por percolación y en menor extensión por evaporación. Compuesto por un medio filtrante de arena y grava y un sistema de drenaje por donde se evacuarán los líquidos percolados hacia el sistema de desagüe de la Planta.



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO



Figura Nº 2.06. Lecho de secado

Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR - UNI

II.4.4. UNIDADES DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

II.4.4.1. Lagunas de estabilización facultativas

Constituido por dos (02) Lagunas del tipo Facultativas dispuestas en serie, cuya finalidad es la remoción de la materia orgánica biodegradable, y de microorganismos patógenos, a través de los siguientes procesos: sedimentación, digestión de lodos, estabilización aerobia de la materia orgánica, fotosíntesis con formación de algas, producción de O₂, y consumo de CO₂ entre otros. La idea es lograr la reducción del nivel de coliformes dentro de los límites indicados por las guías para la calidad del Agua tratada para desagües de la Organización Mundial de la Salud (OMS), es decir, menores a 1,000 CF/100 ml.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

El agua ingresa a la primera laguna (100m de largo por 50m de ancho y una profundidad de 1.5m) por tres vertederos que permiten una distribución homogénea del caudal dentro de la laguna. Posee un TR de 10 días, una coloración verde indicativa de la presencia de algas y buena productividad primaria.

Luego de la segunda laguna (que tiene la mitad de tamaño que la primera) la presencia de coliformes es menor a 10^3 , lo que la deja lista para ser utilizada. Según su diseño, estas lagunas deben ser limpiadas cada diez años.



Figura N° 2.07. Lagunas de estabilización.

Fuente: Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales, 2012, CITRAR - UNI

En el gráfico 2.02 podemos observar el diagrama de flujo de la Planta de tratamiento de aguas residuales de CITRAR.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

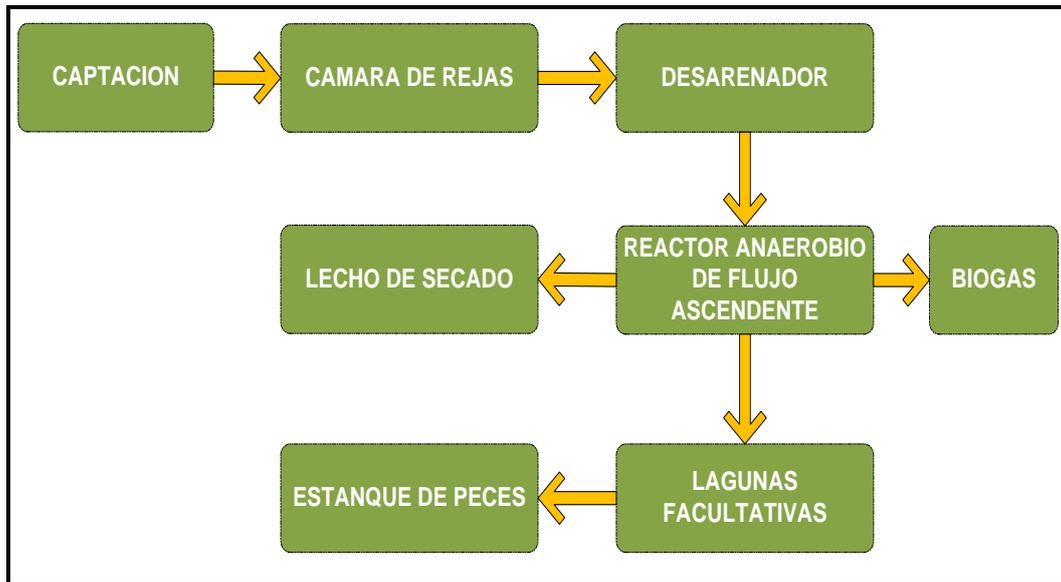


Gráfico N° 2.02. Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de CITRAR.

II.5 TECNOLOGIA DEL REACTOR D.H.S.

II.5.1. REACTOR D.H.S. (Esponja Colgante de Flujo Descendente)

La esponja de Flujo Descendente colgante es un reactor de post tratamiento aeróbico de los desagües, seguido del U.A.S.B. o R.A.F.A. Es un sistema de filtración por percolación sobre esponjas suspendidas. Las esponjas debido a su gran porosidad retienen las bacterias, estas a su vez en presencia del oxígeno degradan los contaminantes orgánicos, nitrogenados y fosforados del desagüe.

II.5.2. TIPOS DE REACTOR D.H.S.

Las formas de las esponjas pueden desarrollar diferentes tipos de reactores D.H.S. y estas son:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- REACTOR DHS G1 – TIPO CUBO

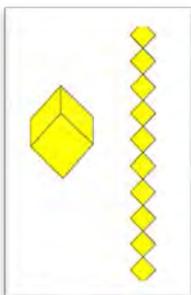


Figura N° 2.08. Reactor D.H.S. G1

- REACTOR DHS G2 – TIPO CORTINA

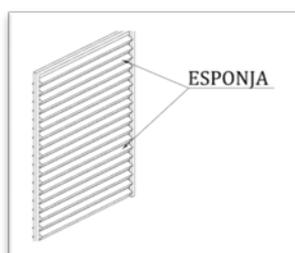


Figura N° 2.09. Reactor D.H.S. G2

- REACTOR DHS G3 – TIPO FILTRO PERCOLADOR

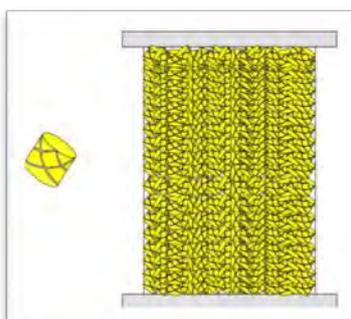


Figura N° 2.10. Reactor D.H.S. G3

- REACTOR DHS G4 – TIPO ESPONJAS DISPUESTOS

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

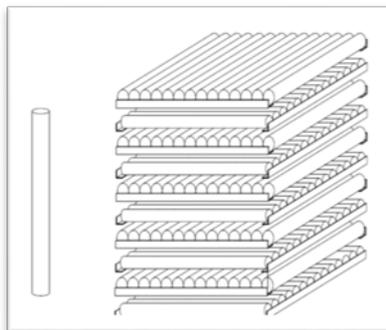


Figura N° 2.11. Reactor D.H.S. G4

- REACTOR DHS G5 - TIPO ESPONJAS CONTINUAS

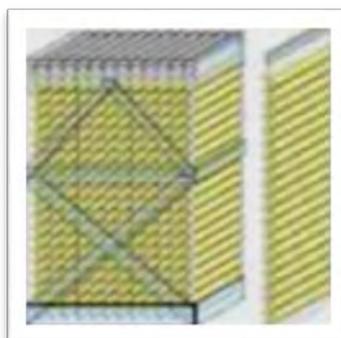


Figura N° 2.12. Reactor D.H.S. G5

- REACTOR DHS G6 – TIPO ESPONJA DURA

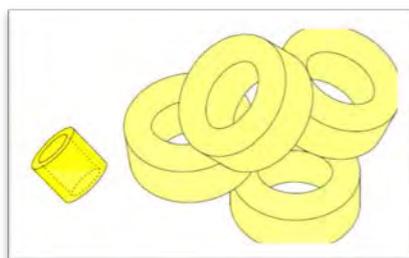


Figura N° 2.13. Reactor D.H.S. G6

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

II.5.2.1 REACTOR D.H.S. G1

El tipo de D.H.S. que se utiliza en este piloto es el G1, es decir con cubos de esponjas suspendidas diagonalmente, (Figura N° 2.14). El prototipo está compuesto de 2 reactores idénticos en paralelo, comprendiendo cada uno de 2 módulos en serie, separados por un espacio de 10 cm.

Las dimensiones de las esponjas es de 25x30x30 mm y con una porosidad en promedio de 0.76. (Figura N° 2.2).

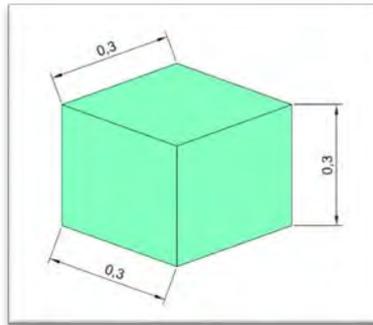


Figura N° 2.14. Dimensiones de la esponja

II.6 INVESTIGACIONES SIMILARES

II.6.1. Desempeño de un tratamiento de aguas residuales a escala piloto: un sistema combinado de reactores anaeróbico de manto de lodo de flujo ascendente (UASB) y de esponja colgante de flujo descendente (DHS) por proceso de reacción Azufre - Redox bajo condiciones de baja temperatura.

El reactor D.H.S. es una nueva tecnología que fue desarrollada por el Grupo de Investigación Harada, Japón (Harada, 2000). El desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando una reacción Azufre - Redox de microorganismos, fue investigado usando un reactor a escala piloto que fue alimentado por aguas residuales. El sistema consistió de un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (U.A.S.B.)

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

y un reactor de esponja colgante de flujo descendente (D.H.S.) con una línea de recirculación. El efluente del U.A.S.B. tiene una DQO de 465 ± 147 mg/L y una DBO de 207 ± 68 mg/L, y fue reducido con el D.H.S. con un tiempo de retención de 12 horas y una temperatura de aguas residuales bajas de 7.0 ± 2.8 °C, a una DQO de 70 ± 14 mg/L y una DBO de 9 ± 2 mg/L.

El método anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (U.A.S.B.) ha sido representado como la tecnología básica de un método de tratamiento de aguas residuales anaerobias, ampliamente utilizado para el tratamiento del medio y de aguas residuales de alta concentración orgánica. Esto ha sido aplicado a las aguas residuales de baja resistencia debido a ventajas como el ahorro de energía y poco lodo de exceso. Sato y colaboradores revelaron que el U.A.S.B. podría ser la opción más adecuada en términos de gastos y eficacia de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales en las regiones calientes de la India. Sin embargo, para el tratamiento de aguas residuales con baja temperatura, el funcionamiento del proceso metanogénico anaerobio para el método de tratamiento anaerobio tiende a degradar debido a que la actividad metanogénica es suspendida (Uemura y Harada, 2000; Yamaguchi y colaboradores, 2006). Por lo tanto, es necesario mejorar la calidad del agua y pulir el tratamiento anaeróbico de aguas residuales mediante un sistema de post-tratamiento.

II.6.2. Rendimiento -de filtros percoladores de plástico y esponjas en el tratamiento de efluentes de un reactor UASB.

Los Reactores Anaerobios de manto de lodos de flujo ascendente (U.A.S.B.) seguidos por los procesos de crecimiento no sumergidos adjuntos son considerados una tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales domésticas en los países en vías de

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

desarrollo (Chernicharo, 2006 y Kassab, 2010). En ese sentido, los filtros percoladores (FP) son alternativas excelentes para el post tratamiento de efluentes anaerobios en las regiones donde están limitadas la construcción y la experiencia operativa. Sin embargo, las mejoras en la operatividad simplificada y la calidad de los efluentes son objetivos importantes a alcanzar.

La eliminación de los microorganismos en la etapa tratamiento secundario puede contribuir a la simplicidad de la operación si no se necesita eliminar los sólidos en el efluente final. Sin embargo, Chernicharo y Almeida (2010) demostraron que la remoción de sólidos suspendidos en un sistema U.A.S.B. / F.P. dependía fuertemente de la calidad del efluente del reactor U.A.S.B. cuando el filtro percolador (FP) estuvo enrollado con materiales de plástico y tienen a su vez vacíos dentro de los reactores D.H.S. Adicionalmente, la nitrificación mejora y remueve Nitrógeno (Almeida, 2009).

Un avance hacia la optimización de la operación de este sistema U.A.S.B. / F.P. es el uso de una esponja a base de medios de cobertura (Machdar, 1997), llamado el flujo descendente colgante de Esponjas (D.H.S.) del sistema. Implicando la mejora de remoción de materia orgánica y nitrógeno.

Sistemas U.A.S.B. / D.H.S. produce un efluente con concentraciones muy bajas de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales (SST), lo que indica que clarificadores secundarios no son necesarios. Tandukar (2006) reportaron la eliminación de amonio de 70 a 80%, dando una concentración media de sólo el 10 mg N/L en el efluente final. Una nueva esponja base de medios de cobertura se está investigando para uso de post tratamiento al U.A.S.B. llamada Rotosponge se encuentra actualmente en fase de desarrollo.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

El objetivo de este estudio de P.G.S. Almeida, A.K. Marcus, B.E. Rittmann-, C.A.L. Chernicharo, es comparar el rendimiento de los filtros percoladores de esponjas llena de medios de cobertura de plástico y una esponja para el post tratamiento de efluentes de un reactor U.A.S.B. El trabajo se centra en la nitrificación, el nitrógeno total removible, y materia orgánica removible, con énfasis en la identificación de los mecanismos responsables de remoción para diferenciar el rendimiento.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO III: MARCO LEGAL

III.1. MARCO LEGAL

III.1.1. ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL

- i) DECRETO SUPREMO N°002-2008 MINISTERIO DEL AMBIENTE
(Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua)**

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

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

El post tratamiento con el reactor D.H.S. está orientado a cumplir con la categoría 3 y 4 de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. La categoría 3 es para el Riego de Vegetales y Bebidas de Animales.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- **Vegetales de tallo alto:** Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tiene una buena longitud de tallo, las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo; forestales, árboles frutales, etc.
- **Vegetales de tallo bajo:** Son plantas cultivables o no, frecuentemente herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.
- **Animales mayores:** Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, camélidos y equinos, etc.
- **Animales menores:** Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**Tabla N° 3.1. Estándares de calidad ambiental – categoría 3: riego de vegetales
y bebidas de animales**

PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO ALTO Y BEBIDA DE ANIMALES		
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Fisicoquímicos		
Bicarbonatos	mg/L	37
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos-P	mg/L	1
Nitratos	mg/L	10
Nitritos	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

FUENTE: EL PERUANO PAG. 377222 NORMAS LEGALES

III.1.2. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES

El Límite Máximo Permisible (LMP) es la medida de la concentración o 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, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

**i) DECRETO SUPREMO N°003-2010 MINISTERIO DEL AMBIENTE
(Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de
Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o
Municipales)**

Se establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados regulados en la Tabla N° 2.2. Así mismo, el Ministerio de Vivienda deberá remitir dentro de los primeros 90 días de cada año un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público en los portales de ambas entidades.

**Tabla N° 3.2. Límite máximo permisible para efluentes de plantas de
tratamiento de aguas residuales domésticas.**

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

FUENTE: EL PERUANO PAG. 415675 NORMAS LEGALES

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Contenido

CAPITULO III: MARCO LEGAL	52
III.1. MARCO LEGAL.....	52
III.1.1. ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL.....	52
i) DECRETO SUPREMO N°002-2008 MINISTERIO DEL AMBIENTE (Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua)	52
Tabla N° 3.1. Estándares de calidad ambiental – categoría 3: riego de vegetales y bebidas de animales	54
III.1.2. LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES	54
i) DECRETO SUPREMO N°003-2010 MINISTERIO DEL AMBIENTE (Aprueban Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales)	55
Tabla N° 3.2. Límite máximo permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	55

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO IV: OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar si el reactor D.H.S. como unidad de post tratamiento de los reactores U.A.S.B. si es eficiente en el tratamiento de las aguas residuales.

IV.1.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Monitorear parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los reactores D.H.S.
- Caracterizar el afluente y efluente de los reactores D.H.S.
- Determinar la variación de los parámetros físico- químicos en el tiempo de la evaluación.
- Obtener un medio filtrante de esponjas que remueva el efluente del reactor U.A.S.B.
- Determinar las concentraciones máximas y mínimas del efluente del reactor U.A.S.B. y los reactores D.H.S.
- Identificar la porosidad de la esponja a ser utilizado en el reactor D.H.S.

CAPITULO V: MATERIALES Y METODOS

V.1. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA

La parte experimental de la investigación se realizó en 6 etapas:

- La primera etapa es realizar el diseño del prototipo.
- La segunda etapa es ubicar un lugar para el funcionamiento del prototipo.
- La tercera etapa es el montaje del prototipo del reactor D.H.S. – G1 tipo cubo.
- La cuarta etapa es verificar las condiciones hidráulicas como el caudal y tiempo de retención hidráulica.
- La quinta etapa es realizar las mediciones analíticas (físicoquímicas y microbiológicas) del afluente y efluente del reactor D.H.S, regular el caudal y darle mantenimiento del Reactor D.H.S.
- La sexta etapa es la interpretación de los análisis y resultados.

V.2. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El diseño del prototipo es realizado definiendo la elección del tipo de reactor D.H.S. que se utilizará. Para la investigación el prototipo que se diseña es el reactor D.H.S. de tipo G1 (tipo cubo), es decir con cubos de esponjas suspendidas diagonalmente. Para un mejor análisis del rendimiento se opta instalación de un reactor D.H.S. en paralelo.

Los reactores D.H.S. se componen de 2 módulos en serie, esto para poder lograr una aireación del efluente a analizar.

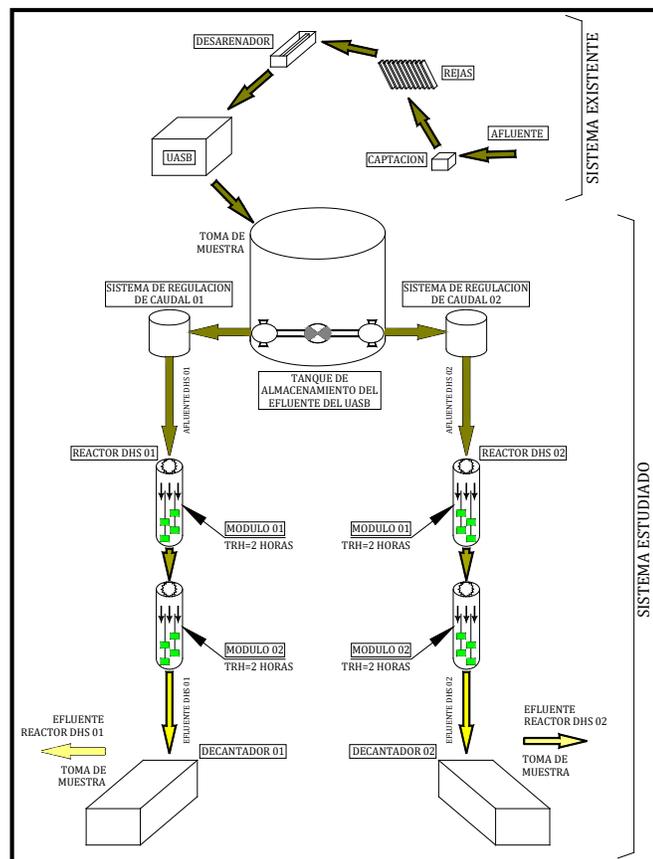


Figura N° 5.1. Diagrama de flujo

Leyenda:

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico

V.3. UBICACIÓN

Para el desarrollo de la investigación, se debe de considerar una PTAR de aguas residuales de tecnología U.A.S.B. CITRAR es un centro de investigación que cuenta con las condiciones favorables para el desarrollo de la investigación.

CITRAR se encuentra ubicado en la Universidad Nacional de Ingeniería, con coordenada 8671419,53 m S y 276763,58 m E, a una elevación de 103 m.s.n.m.



Figura N° 5.2. Ubicación de la zona del proyecto

V.4. MONTAJE DEL PROTOTIPO

El montaje del prototipo es efectuado al costado del U.A.S.B, las consideraciones que se toman en cuenta es de acuerdo al diseño propuesto, como por ejemplo el tipo de Reactor D.H.S. G1, y el sistema funcione por gravedad. En la Figura 5.3 se observa al Reactor D.H.S. con las condiciones adecuadas para el buen funcionamiento.

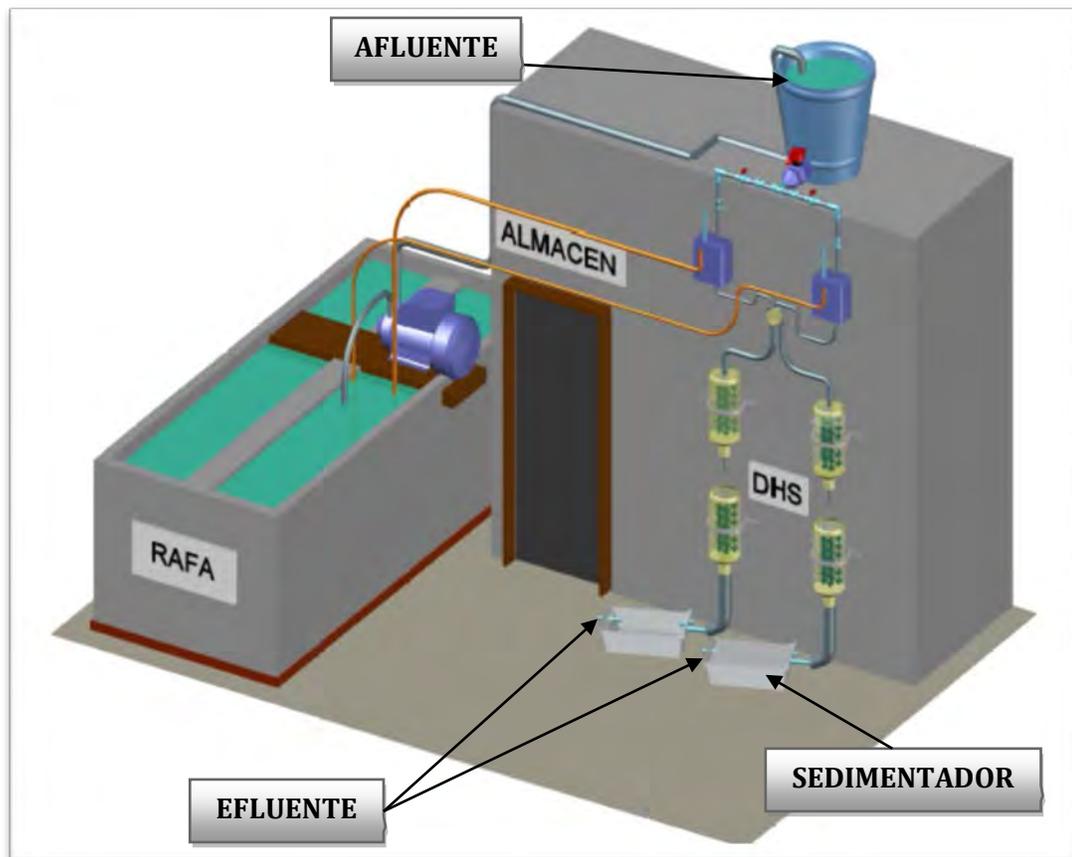


Figura Nº 5.3. Sistema del Reactor D.H.S.

V.4.1. EQUIPOS EMPLEADOS

Los equipos empleados en esta investigación para los procesos y operaciones fueron los siguientes:

- Bomba ½ HP
- Tanque de Almacenamiento.
- Tanque de Regulación.
- Reactores D.H.S.
- Decantadores

V.4.1.1 BOMBA ½ HP

La bomba se utilizó para bombear el agua tratada por el U.A.S.B. Las especificaciones son las siguientes:

$Q_{\max} = 27 \text{ l/min.}$

$H_{\max} = 24 \text{ m.}$



Figura N° 5.4. Bomba ½ HP

V.4.1.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El tanque de Sedimentación cuenta con la siguiente configuración:

- a) Tanque de 200 litros de capacidad.
- b) Válvula de Control de Salida general.
- c) 2 válvulas de control de flujo de los tanques de regulación.



Figura Nº 5.5. Tanque de 200 litros y válvulas

a) Tanque de 200 litros de capacidad.

Sirve como recipiente de almacenamiento del efluente del U.A.S.B.

b) Válvula de Control de Salida general.

La cual sirve para la apertura y cierre del caudal de salida del tanque de almacenamiento. Esta válvula es de tipo globo de PVC y 3/4" de diámetro. El orificio de salida se encuentra ubicado 5 cm del fondo del tanque de almacenamiento.

c) 2 válvulas de control de flujo de los tanques de regulación.

Sirven para la apertura y cierre del caudal de ingreso al tanque de regulación. Esta válvula es de tipo globo de PVC y 1/2" de diámetro.

V.4.2. SISTEMA DE REGULACION

El sistema de regulación cuenta con la siguiente configuración:

- a) Tanque de 1 litro (botella de suero).
- b) 1 tubería de rebose y ventilación
- c) 1 tubería de salida

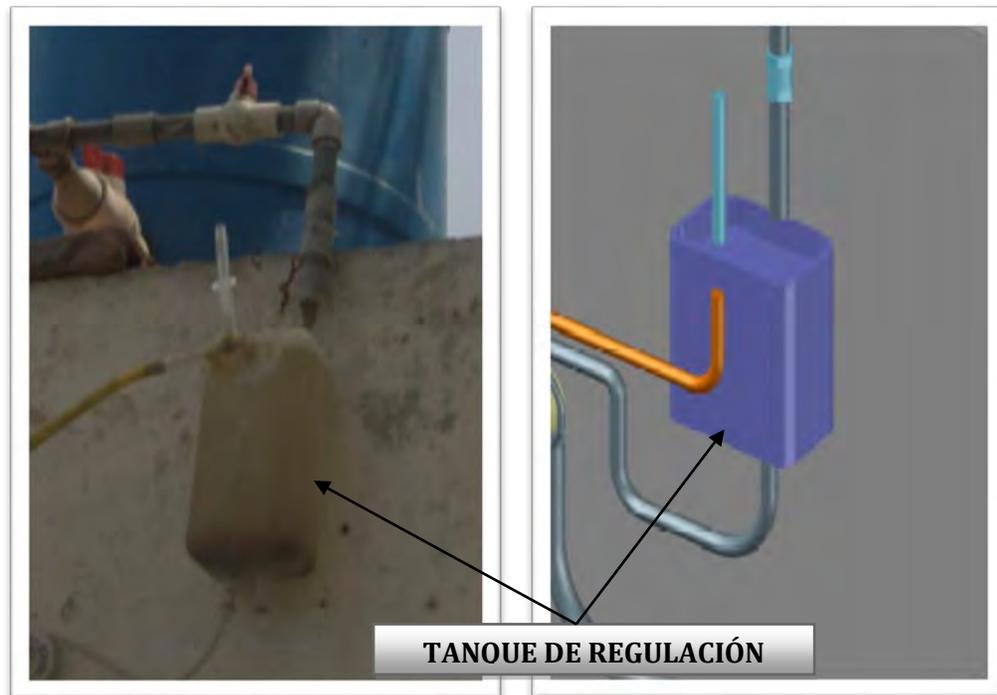


Figura Nº 5.6. Sistema de regulación de caudal.

a) Tanque de 1 litro.

Es una botella de suero que sirve como recipiente de regulación del efluente del tanque de almacenamiento,



Figura Nº 5.7. Botella de suero

b) 1 sistema de rebose y ventilación.

La tubería de rebose es de látex de diámetro aproximado de 3/8", va unida al tanque de 1 litro, se utilizó silicona para poder pegar la tubería y evitar fugas, el efluente es llevado por rebose nuevamente al U.A.S.B.

La tubería de ventilación, es de PVC cortado de un lapicero, se utilizó silicona para poder pegar al tanque de 1 litro, esto para permitir la hermeticidad en el sistema.

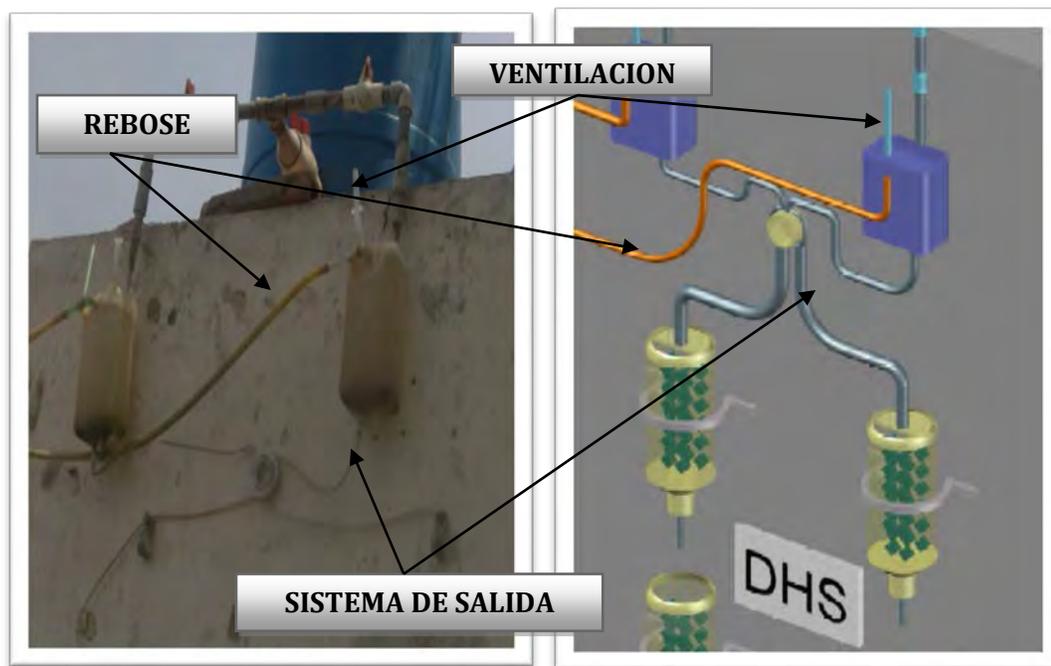


Figura Nº 5.8. Sistema de rebose y ventilación.

c) 1 tubería de salida

Para el sistema de salida se utilizó una venoclisís que sirve para conducir el efluente por gravedad del sistema de regulación hacia el reactor D.H.S.

La venoclisís mediante su llave reguladora para el goteo del efluente, ayuda a obtener los caudales determinados para la investigación.

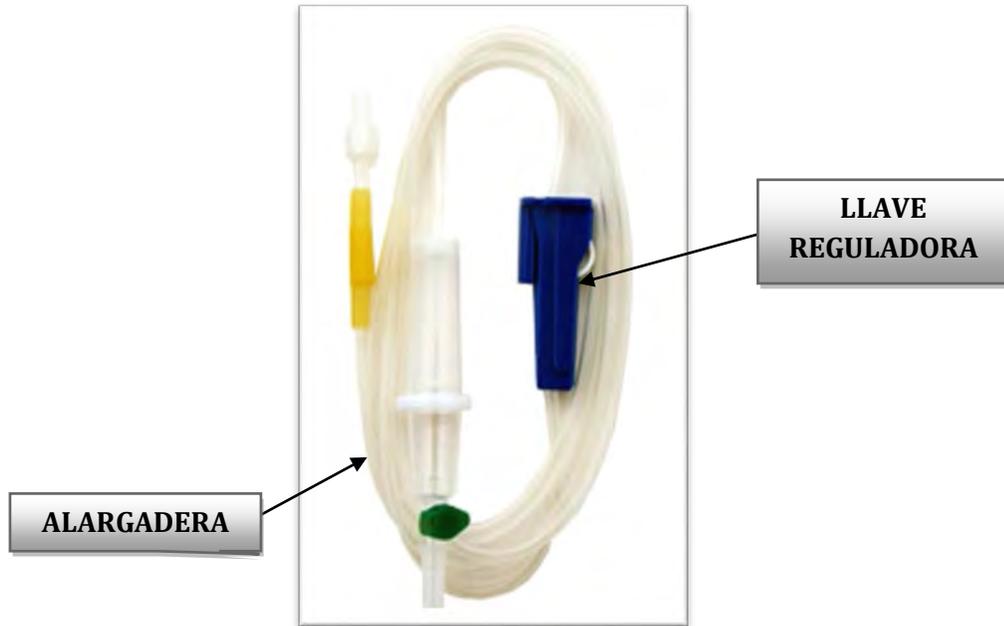


Figura Nº 5.9. Sistema de rebose y ventilación.

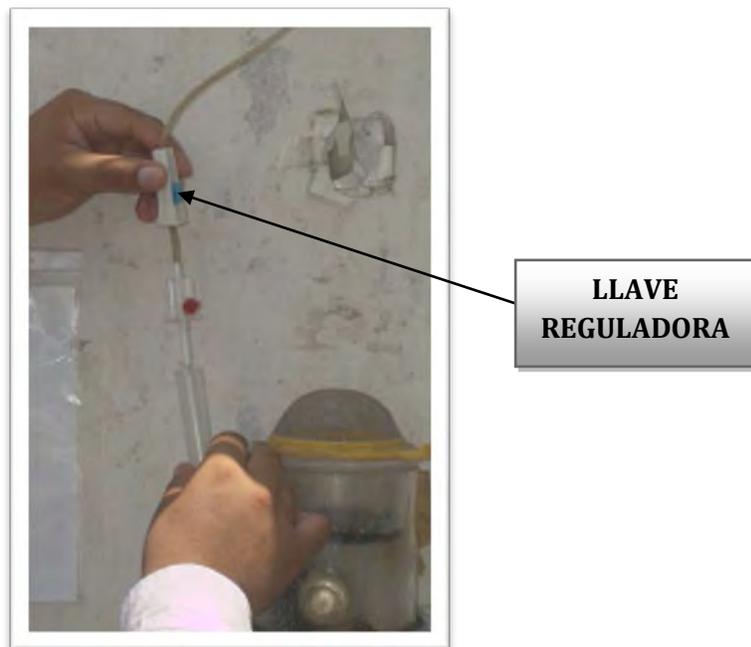


Figura Nº 5.10. Regulación del caudal con la llave reguladora

V.4.3. REACTOR DE D.H.S.

El modulo de D.H.S. está compuesto de módulos y esponjas.

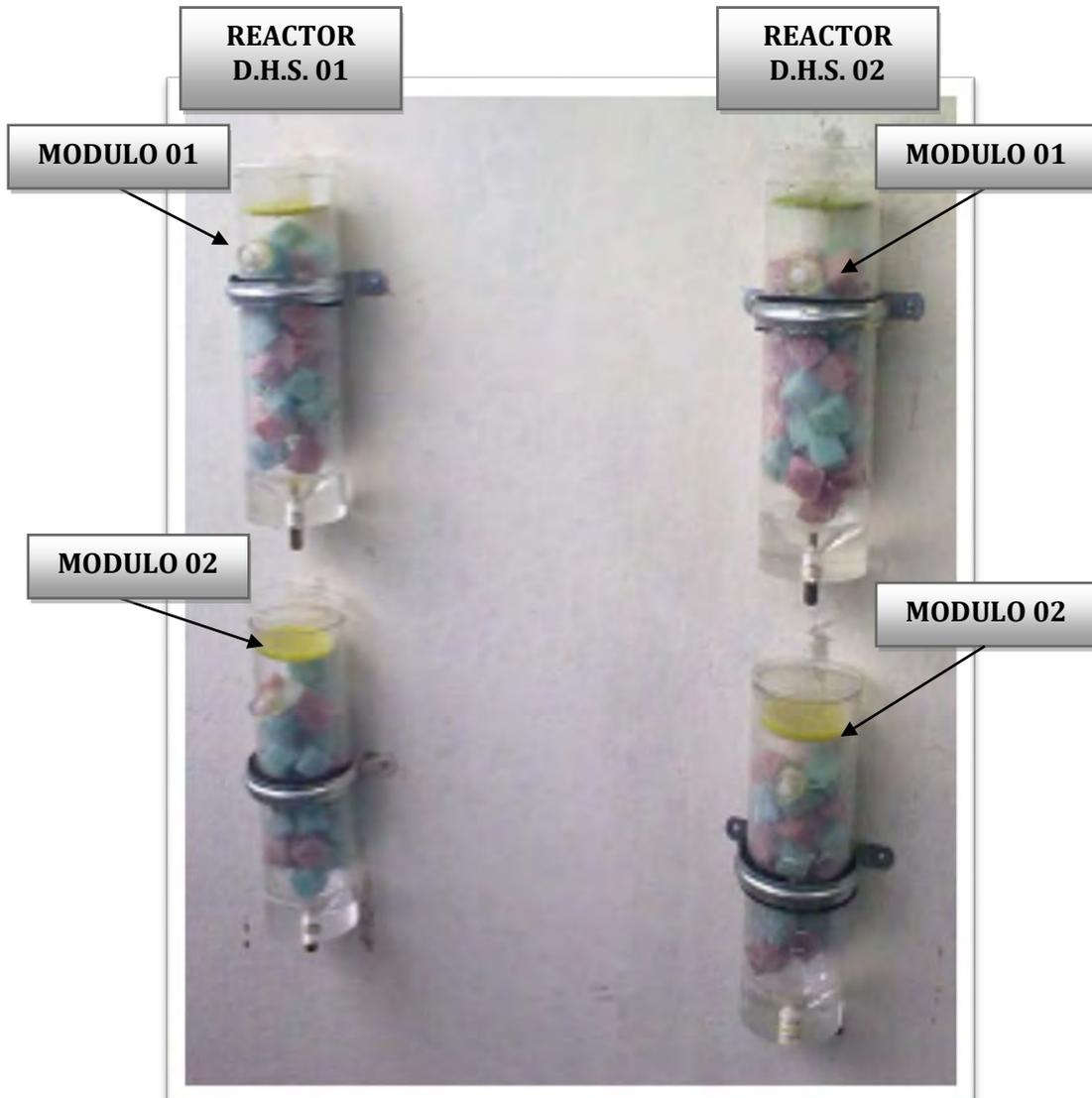


Figura N° 5.11. Reactor D.H.S. 01 y Reactor D.H.S. 02 con sus respectivos módulos

a) Módulo

Es un envase de acrílico que en su interior contiene las esponjas colgantes sostenidas a través de hilos de pescador, sujetadas en un recipiente que sirve para distribuir el caudal de entrada, de tal manera que evita formar espacios muertos. Este sistema tiene aireación de manera natural entre los dos módulos en serie.

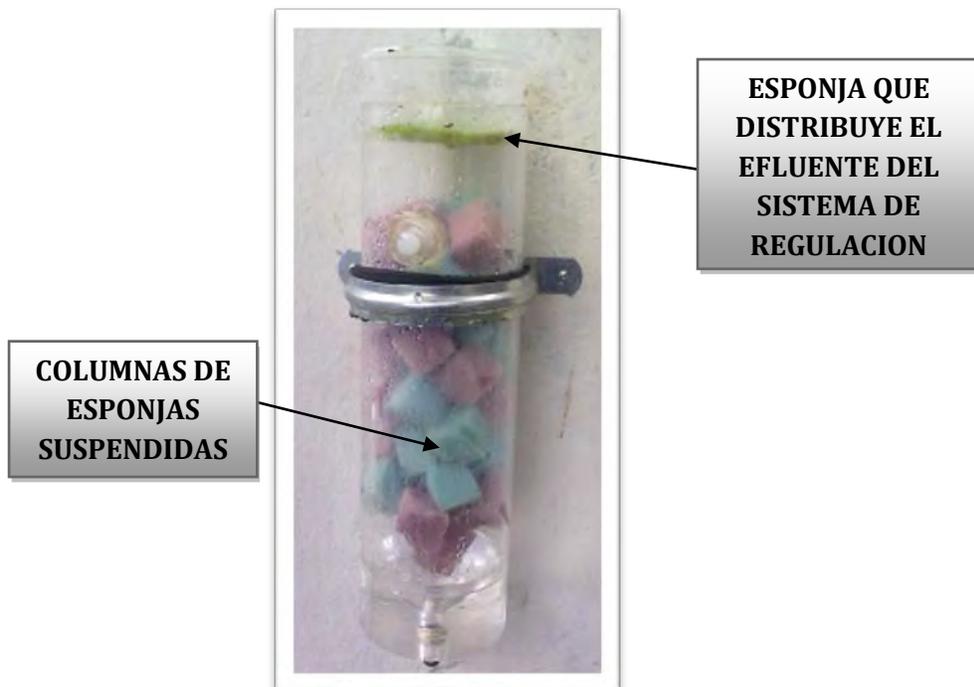


Figura Nº 5.12. Modulo 01 – Reactor D.H.S. 02

b) Esponja

Las esponjas están hechas de un material poroso que es fabricado por fibras celulósicas o en polímeros de plástico. Las esponjas seleccionadas son cubos de 30mm x 30 mm x 30 mm. Estas se sujetan en líneas de 6 cubos diagonalmente. Teniendo las líneas sujetas, se amarran sobre el soporte de la espuma que distribuye caudales, estas a su vez juntas es el total de esponjas por modulo del reactor D.H.S.

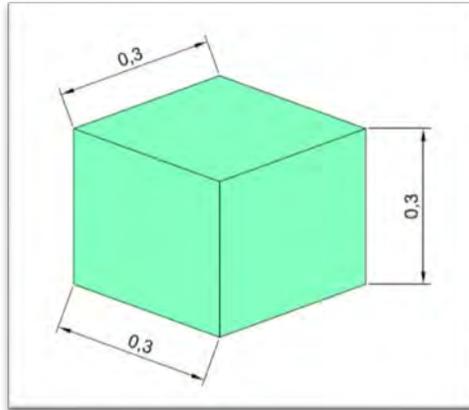


Figura Nº 5.13. Dimensiones de la Esponja

i) Características de las esponjas

Se utilizó una esponja o espuma de poliuretano marca Zebra, fabricada por Paraíso y patentada nacionalmente por su exclusiva y única formulación a dos colores.

La espuma de poliuretano es un plástico poroso formado por una agregación de burbujas, conocido también por los nombres coloquiales degomaespuma en España o gomapluma en algunos países sudamericanos. Se forma básicamente por la reacción química de dos compuestos, un polioliol y un isocianato, aunque su formulación necesita y admite múltiples variantes y aditivos. Dicha reacción libera dióxido de carbono, gas que va formando las burbujas.

Básicamente, y según el sistema de fabricación, se pueden dividir los tipos de espumas de poliuretano en dos tipos:

- **Espumas en caliente**, son las espumas que liberan calor durante su reacción, fabricadas en piezas de gran tamaño, destinadas a ser cortadas posteriormente. Se fabrican en un proceso continuo, mediante un dispositivo llamado espumadora, que básicamente es la unión de varias máquinas, de las cuales la primera es un mezclador, que aporta y mezcla los diferentes compuestos de la mezcla; la segunda es un sistema de cintas sin fin, que

arrastra la espuma durante su crecimiento, limitando su crecimiento para darle al bloque la forma deseada; y la parte final de la espumadora es un dispositivo de corte, para cortar el bloque a la longitud deseada. Generalmente son las más baratas, las más utilizadas y conocidas por el público.

- **Espumas en frío:** son aquellas que apenas liberan calor en la reacción, se utilizan para crear piezas a partir de moldes; como rellenos de otros artículos; como aislantes, etc. Se fabrican mediante una espumadora sencilla, que consiste en un dispositivo mezclador. Normalmente suelen ser de mayor calidad y duración que las espumas en caliente, aunque su coste es bastante mayor

Para comparar las distintas espumas se suele utilizar mucho la **densidad**, pero sólo sirve como elemento comparativo cuando se habla de espumas con la misma composición, ya que distintas fórmulas dan características diferentes. En unas espumas se busca la mayor duración posible, en otras el precio más económico, en otras la transpirabilidad, la capacidad aislante, la facilidad de perfilar o dar forma, la ligereza, y demás.

El **poliuretano** (PUR) es un polímero que se obtiene mediante condensación de di-bases hidroxílicas combinadas con disocianatos. Los poliuretanos se clasifican en dos grupos, definidos por su estructura química, diferenciados por su comportamiento frente a la temperatura. De esta manera pueden ser de dos tipos: termoestables o termoplásticos (poliuretano termoplástico, según si degradan antes de fluir o si fluyen antes de degradarse, respectivamente). Normalmente su formulación se basa en la combinación de dioles (HO-R-OH) de baja o media masa molecular (1000-2000 g/mol) combinados con diisocianatos (NCO-R'-NCO). Los dioles proporcionan un carácter elástico, flexible y tenaz al material por lo cual sus segmentos en la estructura molecular se denominan "segmentos flexibles"

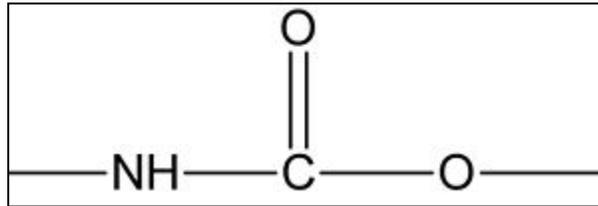


Figura Nº 5.14. Grupo uretano eslabón de las cadenas poliméricas en los poliuretanos

La densidad normalmente se expresa en libras por pie cúbico (pcf) o kilogramos por metro cúbico (kg/m³). La densidad es fundamental porque el poliuretano flexible está formado por material y espacios vacíos.

La firmeza del poliuretano flexible es independiente de su densidad. Puede haber espumas de baja densidad y superficie firme o de alta densidad y superficie blanda. Por lo tanto no existe el concepto de densidad “dura” o “blanda”.

Por otro lado existe una diferencia entre “firmeza” y “soporte”. La firmeza es una medida de las características de la superficie del poliuretano. El soporte es la capacidad de “empujar” contra un peso y que previene que la espuma se deforme. Las espumas de mayor densidad previenen que la espuma se colapse con el peso del cuerpo en aplicaciones finales.

Se suele utilizar mucho la densidad para comparar las distintas espumas, pero sólo sirve como elemento comparativo cuando hablamos de espumas con la misma composición, ya que distintas fórmulas nos dan características diferentes. En unas espumas buscaremos la mayor duración posible, en otras el precio más económico, en otras la transpirabilidad, la capacidad aislante, la facilidad de perfilar o dar forma, la ligereza, etc.

La formulación de la espuma y producción continua garantizan el peso y densidad exacta por metro cúbico. A mayor número de densidad mayor calidad y durabilidad de Zebra en el tiempo.

¿Cómo elegir una esponja de calidad?

- Primero pregunta la densidad de la espuma que se expresa en kilos por metros cúbicos (kg/m³).
- A mayor número de densidad, mejor calidad y mayor vida útil de la espuma. Tenga en cuenta que la densidad es sinónimo de duración, siempre y cuando, su formulación cuente con insumos de alta calidad como los de Zebra.

La dureza no significa durabilidad. La calidad de una esponja se mide por su densidad no por su dureza o firmeza. A mayor número de densidad mayor durabilidad en el tiempo. Siendo estas clasificadas de la siguiente manera:

- Zebra 16: Densidad 16 Kg/m³
 - Zebra 18: Densidad 18 Kg/m³
 - **Zebra 20: Densidad 20 Kg/m³ (Este tipo es la elegida para nuestra investigación)**
 - Zebra 23: Densidad 23 Kg/m³
-
- **DENSIDAD**

La densidad de la espuma y de Zebra se expresa en kilos por metros cúbicos (kg/m³). A mayor densidad, mayor capacidad de soportar peso y resistencia a la deformación por uso.

Cada una de muestras espumas Zebra se caracteriza por un diseño a rayas que combina siempre dos colores. Estos colores varían de acuerdo a la densidad de Zebra para que pueda identificar rápidamente la Zebra que usted necesita.



Figura N° 5.15. Esponja Zebra

- **POROSIDAD DE LA ESPONJA**

1. Determinamos la densidad aparente:

- La porosidad de las esponjas se cuantifica utilizando un vaso graduado y agua. Se llena a la mitad o a un volumen conocido con pipeta para mayor precisión.



Figura N° 5.16. Esponja cortada



Figura N° 5.17. Peso de la esponja

- Se corta la esponja un volumen conocido y luego se pesa en la balanza electrónica.

$$\text{Volumen de la esponja} = 3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm} = 27.0 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso de la esponja} = 0.6 \text{ gr.}$$

- Se halla la densidad real de la esponja:

$$\text{Densidad Real} = \frac{\text{Peso de la esponja}}{\text{Volumen de la esponja}}$$

$$\text{Densidad Real} = \frac{0.6 \text{ gr.}}{27 \text{ cm}^3} = 0.022 \text{ gr/cm}^3$$

- Se toma 100ml de agua



Figura N° 5.187. Se mide 100ml de agua y luego es vaciado a un recipiente



Figura N° 5.19. Se deja la esponja en el recipiente para que absorba el agua

- Sacar la esponja con cuidado y se mide el volumen de agua en el vaso. La diferencia es el volumen desplazado. Hacer esto varias veces por que se pierde agua al sacar la esponja. Sacar un promedio.

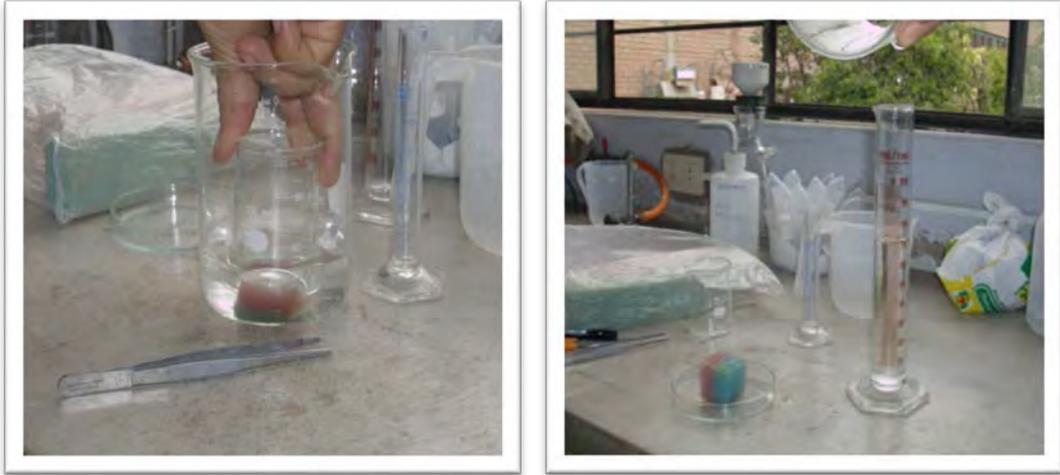


Figura N° 5.20. Luego de absorbida se deja la esponja en un recipiente para hallar el volumen de agua desplazada

Volumen desplazado del agua:

Prueba 01 = 27 cm ³	
Prueba 02 = 27.5 cm ³	
Prueba 03 = 25 cm ³	Promedio = 25.8 cm ³
Prueba 04 = 25.5 cm ³	
Prueba 05 = 24 cm ³	

- Conociendo la densidad del agua (H₂O=1 g/cm³) se encuentra la densidad aparente:

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{C}{\text{Volumen esponja}}$$

2. Determinamos la porosidad

De la fórmula:

$$\%P = (1 - (Dr / Da))x100$$

$$\%P = (1 - \frac{0.022 \text{ gr/cm}^3}{0.955 \text{ gr/cm}^3})x100$$

$$\%P = 97.67\%$$

Por lo tanto:

$$\text{Porosidad}(\%) = 0.9767$$

Se concluye que la porosidad no es un parámetro determinante para escoger el tipo esponja para el reactor D.H.S. debido a que la esponja al principio no absorbió el agua y se tuvo que presionar con un objeto para que pudiera absorber el líquido del recipiente. Escoger una buena esponja depende sobre todo de sus características de absorber el agua, es decir depende del material de la esponja.

V.4.4. DECANTADOR

i. Decantador

Son envases de PVC de forma rectangular de capacidad de 1 litros que reciben el efluente proveniente del reactor D.H.S.

La tubería de conducción es de látex de diámetro aproximado de 3/8", va unida al tanque de capacidad de 1 litro, se utilizó silicona para poder pegar la tubería y evitar fugas.

La tubería de salida para el muestreo, es de PVC cortado de un lapicero, se utilizó silicona para poder pegar al tanque de 1 litro, esto para evitar fugas del líquido.

Para evitar el crecimiento de algas se cubrió el decantador con un plástico negro.



Figura N° 5.21. Tanque de 1 litro adecuado para el decantador

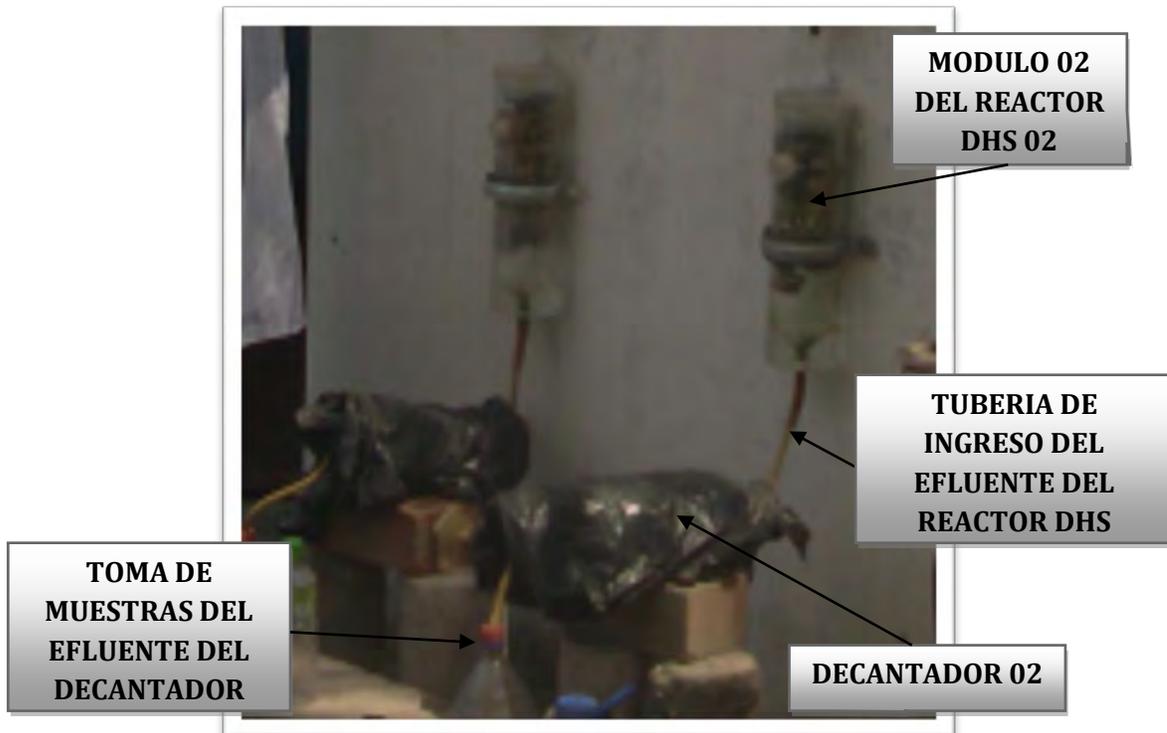


Figura N° 5.22. Tanque de 1 litro adecuado para el decantador

V.5. CONDICIONES HIDRAULICAS

V.5.1. TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA DEL REACTOR D.H.S. TEORICO (TRH)

El tiempo de retención hidráulico en el reactor D.H.S. se consideró inicialmente fue de 4 horas, es decir 2 horas por modulo. El valor del TRH es tomado del ensayo realizado en Japón por los investigadores; Uemura y Harada, 2000; Yamaguchi y colaboradores, 2006; Elmitwalli y colaboradores, 2001, 2002, 2003 y Álvarez y colaboradores, 2008, que establecieron un tiempo de retención de 12 horas para el sistema U.A.S.B. – D.H.S., siendo 8 horas para el reactor U.A.S.B. y 4 horas para el reactor D.H.S.

V.5.2. CAUDAL

Se intentaron varios métodos para la regulación de caudal como flotadores en el tanque de almacenamiento, válvulas a la salida y control a la salida del tanque de almacenamiento y el sistema de venoclisis a la salida de los tanques de regulación. Estos sistemas han sido evaluados con agua, aforando el caudal cada hora.

Finalmente se optó por instalar válvulas de salida y control a la salida del tanque de almacenamiento y el sistema de venoclisis a la salida del tanque de regulación.

Este sistema de regulación de caudal ha sido evaluado una semana con agua del RAFA, midiendo cada hora los caudales en el equipo de venoclisis de ambos reactores. Los resultados no fueron tan satisfactorios como con agua limpia, porque las partículas presentes en el agua descalibraban a veces la rueda de regulación del sistema de venoclisis. Sin embargo, reajustando el aproximando cada 16 horas diariamente, son aceptables para el resto del día.

Para determinar el caudal en el reactor D.H.S., se utiliza el dato del Tiempo de Retención Hidráulico Teórico, teniendo como tiempo de retención 4 horas por reactor D.H.S, se estableció el número de gotas, para lo cual como primer paso se determinó el volumen de una gota siguiendo los siguientes pasos:

- Llenar un recipiente de 10 ml con gotas de agua.
- Contar las gotas.
- El total de gotas que llenaron el recipiente fue de 74 gotas.
- Por lo tanto el volumen de la gota es $10/74 = 0.135$ ml.

Luego se determinó el volumen de las esponjas en cada módulo, siguiendo los pasos siguientes:

- Determinación del volumen de una esponja

$$V_{(ESPONJAS)} = 0.03ml \times 0.03ml \times 0.025ml = 22.5ml$$

- Como el número de esponjas por línea es 6, por lo tanto:

$$V_{(LINEA)} = 22.5ml \times 6 = 135ml$$

- Como tenemos 5 líneas por modulo, por lo tanto:

$$V_{(MODULO)} = 135ml \times 5 = 675ml$$

Teniendo el tiempo de retención hidráulico y el volumen de las esponjas, determinamos el caudal por modulo:

$$Q_{(MODULO)} = \frac{V_{(ESPONJAS)}}{TRH_{(TEORICO)}}$$

Donde:

$Q_{(MODULO)}$: Caudal por modulo.

$TRH_{(TEORICO)}$: Tiempo de Retencion Hidraulica Teorico.

$V_{(ESPONJAS)}$: Volumen de las esponjas

$$Q_{(MODULO)} = \frac{675ml}{2h} = 337.5ml/h = 5.62ml/min = 41.66gotas/min = 8.1lt/dia$$



Figura Nº 5.23. Calibración del Caudal

V.5.3. TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA DEL REACTOR D.H.S. REAL (TRH)

Teniendo en cuenta la porosidad de las esponjas, se efectúa una corrección en el Tiempo de Retención Hidráulico para el periodo 1 y el periodo 2.

De:

$$TRH_{(REAL)} = \frac{V_{(ESPONJAS)}}{Q_{(MODULO)}} \times Porosidad$$

Periodo 1:

Con los datos:

$$\underline{V_{(ESPONJA)} = 675ml}$$

$$\underline{Q_{(MODULO)} = 5.62ml / min = 8.1lt / dia}$$

$$\underline{Porosidad_{(ESPONJA)} = 0.97\%}$$

$$TRH_{(REAL)} = \frac{675ml}{5.62 ml/min} \times 0.97 = 1.57horas$$

Periodo 2:

Con los datos:

$$\underline{V_{(ESPONJA)} = 675ml}$$

$$Q_{(MODULO)} = 11.24 \text{ ml / min} = 16.2 \text{ lt / dia}$$

$$Porosidad_{(ESPONJA)} = 0.97\%$$

$$TRH_{(REAL)} = \frac{675 \text{ ml}}{11.24 \text{ ml/min}} \times 0.97 = 58.2 \text{ min}$$

V.6. METODOS ANALITICOS

V.6.1. ANALISIS FISICOQUIMICOS

V.6.1.1. TEMPERATURA

La medición de la temperatura, fue realizada con un medidor de PH/ Temperatura eléctrica de electrodo, marca Corning PH/Ion meter 450 que pertenece al laboratorio de **CITRAR**, de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

V.6.1.2. PH

La medición del PH, fue realizada con un medidor de PH/ Temperatura eléctrica de electrodo, marca Corning PH/Ion meter 450 que pertenece al laboratorio de **CITRAR**, de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.



Figura Nº 5.24. PHmetro

V.6.1.3. TURBIEDAD

La medición de la Turbiedad, fue realizada con un Colorímetro modelo DR850 de la marca HACH que pertenece al laboratorio de **CITRAR**, de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.



Figura Nº 5.25. Turbidimetro

V.6.1.4. OXIGENO DISUELTO (OD)

La medición del Oxígeno Disuelto, fue realizada con un Oxímetro Sension6 marca HACH que pertenece al laboratorio de **CITRAR**, de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.



Figura Nº 5.26. Oxímetro

V.6.1.5. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

La determinación de los “Sólidos Suspendidos Totales”, fue realizada en el **Laboratorio de Investigación del Agua**, de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Se realizó la medición con un Turbidímetro que pertenece al Laboratorio Marca HACH y de manera instantánea se tomó lectura de los sólidos suspendidos.

V.6.1.6. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

La medición de Sólidos Disueltos, fue realizada utilizando un equipo multiparámetro eléctrica de electrodo, marca ORION Modelo 115 que pertenece al **Laboratorio de Investigación del Agua**, de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los resultados fueron tomados de manera instantánea.

V.6.1.7. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)

La determinación de la “Demanda Bioquímica de Oxígeno”, fue realizada en el **Laboratorio de Investigación del Agua**, de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con el método: Prueba de Requerimiento de Oxígeno Bioquímico de 5 días, de los “Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales” de la APHA AWWA, 17^{va} edición, 1992. ⁽⁷⁾

V.6.1.8. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La determinación de la “Demanda Química de Oxígeno”, fue realizada en el laboratorio de CITRAR, de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería, de acuerdo con el método Colorimétrico de Flujo Cerrado, de los “Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales” de la APHA AWWA, 17^{va} edición, 1992.

V.6.2. ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

V.6.2.1 COLIFORMES TOTALES (CT) Y COLIFORMES FECALES (CF)

La determinación de los coliformes totales y coliformes fecales fue analizada por el laboratorio de ECOLAB, laboratorio acreditado por INDECOPI con NORMA ISO 17025. De acuerdo a los métodos de ensayo:

- Coliformes totales: APHA 9221 B. Pág. 9-49, 21st EDITION 2005
STANDARD TOTAL COLIFORM FERMENTATION TECHNIQUE
- Coliformes fecales: APHA 9221 E. Pág. 9-56, 21st EDITION 2005 FECAL
COLIFORM PROCEDURE.

V.7. MANTENIMIENTO

El mantenimiento que se realizó al reactor D.H.S. fue el siguiente:

- Cubrir con un plástico negro para evitar el desarrollo de algas por la fotosíntesis.



Figura Nº 5.27. Sistema D.H.S. cubierto para evitar el crecimiento de las algas en todo el sistema

- Lavar los reactores cuando se existe presencia de algas impregnadas en las paredes del reactor D.H.S.
- Lavar las mangueras con detergente biodegradable y sacar los sedimentos y las algas impregnadas.
- Lavar las esponjas cuando se evidencian presencia de larvas, este lavado se realizaba con detergente biodegradable y enjuagarlas con agua hasta retirar todo el detergente presente.
- Tapar el tanque de almacenamiento para evitar ingreso de objetos extraños.
- Lavar el tanque de almacenamiento cada 15 días.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO VI: RESULTADOS

VI.1. ANALISIS FISICOQUIMICO

VI.1.1. TEMPERATURA

La temperatura está determinada por múltiples factores potencialmente ambientales que la hacen variar continuamente. Generalmente este parámetro no se acondiciona, se presenta en forma natural. La temperatura es un parámetro importante porque influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la adsorción de oxígeno. La temperatura en el agua es un parámetro muy importante dada su influencia sobre las reacciones químicas, velocidades de reacción y actividad bacteriana; influenciando por ejemplo, en la concentración de saturación de oxígeno.

La temperatura se midió diariamente desde el 20 de Julio del 2010 hasta el 30 de Junio del 2010 la primera fase con un caudal de 8.1 l/día (41 gotas/min) y la segunda fase del 09 de Setiembre del 2010 con un caudal 16.2 l/día (82 gotas/min) según Tabla N° 6.1. Normalmente se tomó dos a tres mediciones durante el día, la primera a las 10.00 a.m. la segunda a las 12.00 pm y la tercera a las 3.00 pm aproximadamente. Los valores promedio de temperatura se muestran a continuación:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Tabla N° 6.1. Valores de caudal, Tiempo de Retención Hidráulico y Períodos.

	PERÍODO 1		PERÍODO 2	
CAUDAL	41 Gotas	8.1 litros/día	82 Gotas	16.2 litros/día
TRH (Horas)	4 Horas		2 Horas	
FECHA	Del 20/07/2010 Al 09/09/2010		Del 20/07/2010 Al 09/09/2010	

Leyenda:

TRH: Tiempo de Retención Hidráulico

VI.1.1.1. Resultados de la caracterización en el Afluente del Reactor D.H.S.

Tabla N° 6.2. Valores promedio de Temperatura del Afluente del Reactor D.H.S.

PARAMETRO	TEMPERATURA (°C)					
	D.H.S.			D.H.S.		
AFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l /día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	15.10	22,00	18.97	16.70	26.60	21.72

De la tabla N° 6.2 se observa que la temperatura promedio en el época de invierno es de 18.97°C y en la época de primavera es de 21.72°C. Además el valor máximo es 22°C y mínimo de 15.10°C en invierno, y el valor máximo es 26.60°C y mínimo de 16.70°C en primavera. Por otro lado, podemos apreciar las variaciones de la temperatura en el gráfico N° 6.1. Con estas condiciones de temperatura el proceso de tratamiento es más probable de obtener resultados favorables en el tratamiento.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

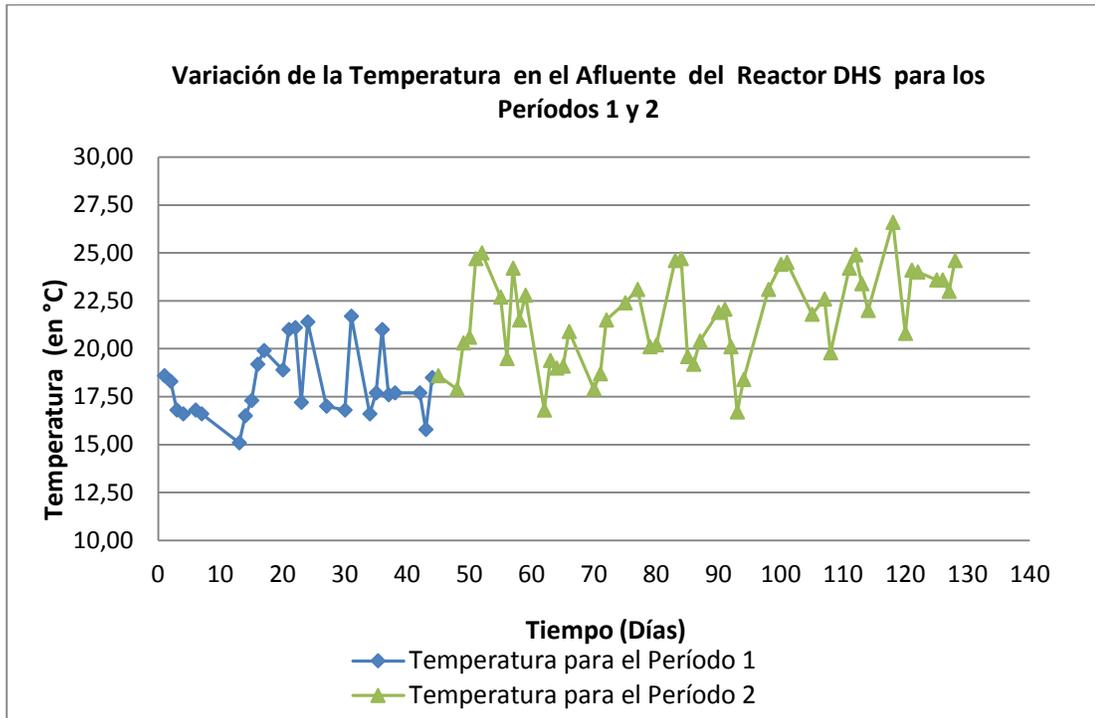


Gráfico N° 6.1. Variación de la Temperatura en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

VI.1.1.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

Tabla N° 6.3. Valores promedio de Temperatura del Efluente del Reactor D.H.S. 01

PARAMETRO	TEMPERATURA					
	D.H.S.			D.H.S.		
EFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	15.30	22.30	18.23	16.10	25.60	21.45

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

De la tabla N° 6.3 se observa que la temperatura promedio en el época de invierno es de 18.23 °C y en la época de primavera es de 21.45 °C. Además el valor máximo es 22.30 °C y mínimo de 15.30°C en invierno, y el valor máximo es 25.60°C y mínimo de 16.10°C en primavera.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la temperatura en el efluente del Reactor D.H.S. 01 (Ver gráfico N° 6.2.)

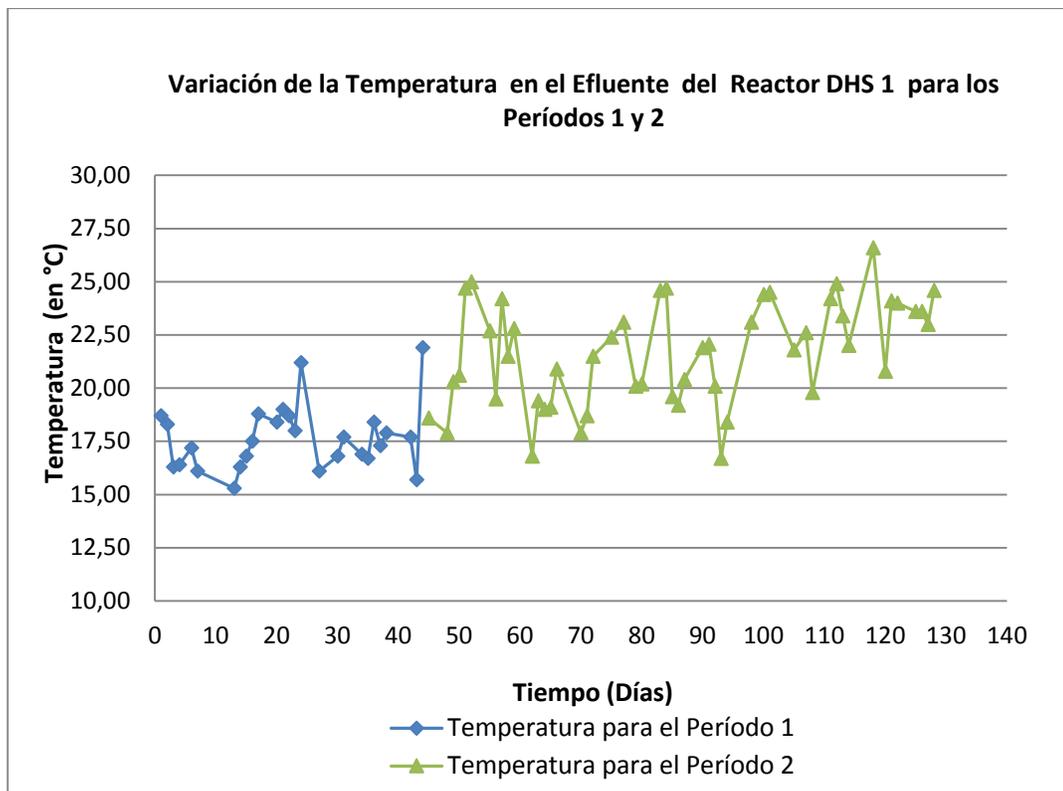


Gráfico N° 6.2. Variación de la Temperatura en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**VI.1.1.3. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor DHS
2:**

Los resultados obtenidos en el Efluente D.H.S. 02 son lo indicados en la tabla N° 6.3.

Tabla N° 6.4. Valores promedio de Temperatura del Efluente del Reactor D.H.S.

2

PARAMETRO	TEMPERATURA					
EFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	15.10	22.40	18.33	15.70	25.90	21.43

De la tabla N° 6.4, se observa que la temperatura promedio en el época de invierno es de 18.33 °C y en la época de primavera es de 21.43 °C. Además el valor máximo es 22.4°C y mínimo de 15.10°C en invierno, y el valor máximo es 25.90°C y mínimo de 15.70°C en primavera. Por otro lado, el valor mínimo de temperatura registrado es aproximadamente 15.10°C, se dio en el mes de Julio y coincide con el invierno, tal como lo muestra el gráfico N° 6.3.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

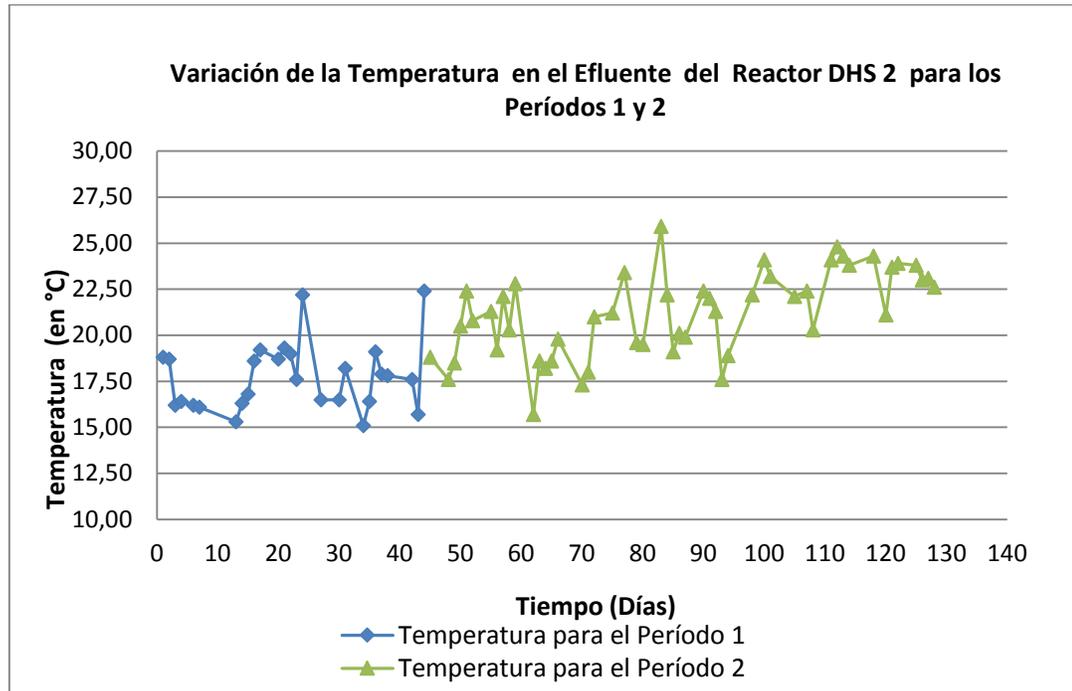


Gráfico N° 6.3. Variación de la Temperatura en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

VI.1.2. PH

El pH es un término universalmente usado para expresar la intensidad de la concentración de la condición acida o alcalina de una solución. Es decir, es la manera de expresar la concentración de iones hidrogeno, es un parámetro de gran importancia, el intervalo de concentración adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte del crecimiento de microorganismos es bastante estrecho, generalmente es de 6.5 a 8.5, por lo que se requiere que el pH sea controlado dentro de los limites pequeños en procedimientos químicos. Aguas con pH menor de 6, en tratamiento biológico, favorecen el crecimiento de hongos sobre las bacterias; a pH alto la forma predominante del nitrógeno es la forma gaseosa no iónica (NH₃) la cual es tóxica.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

El PH se midió diariamente desde el 20 de Julio del 2010 hasta el 30 de Junio del 2010 la primera fase con un caudal de 8.1 l/día (41 gotas/min) y la segunda fase con un caudal de 16.2 l/día del 09 de Setiembre del 2010 con 82 (gotas/min). Normalmente se tomó tres mediciones durante el día, la primera a las 10.00 a.m. la segunda a las 12.00 pm y la tercera a las 3.00 pm aproximadamente. Los valores promedio del PH se muestran a continuación:

VI.1.2.1. Resultados de la caracterización en el Afluente del Reactor D.H.S.

Tabla N° 6.5. Valores promedio de pH del Afluente del Reactor D.H.S.

PARAMETRO	PH					
	D.H.S.			D.H.S.		
AFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	7.03	7.84	7.40	5.73	8.07	7.39

Como puede apreciarse en la tabla N° 6.5, el pH en promedio en invierno fue de 7.4 y en primavera fue de 7.39 oscilando dentro del rango recomendable para el tratamiento biológico, es decir durante la operación de los reactores los microorganismos tuvieron condiciones favorables para su desarrollo y crecimiento, lo cual beneficia a la eficiencia del proceso.

A continuación se muestra la variación gráficamente del pH. (Ver Gráfico N° 6.4.)

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

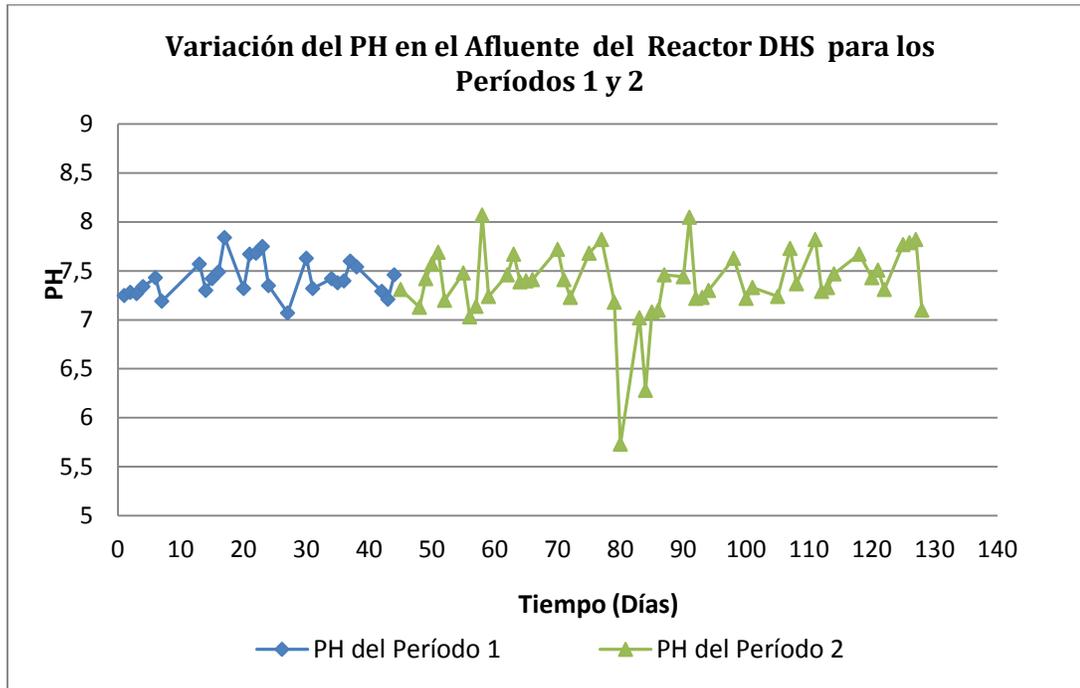


Gráfico N° 6.4. Variación del pH en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

En el gráfico 6.4 se puede apreciar que existe una ligera disminución del pH a la salida de los reactores anaerobios, además que durante los meses de estudio hubo condiciones favorables para el crecimiento de la biomasa debido a que el promedio del pH = 7.40 en primavera y en invierno tuvo un pH = 7.39 siendo estos valores óptimos para el crecimiento de la biomasa en las esponjas.

VI.1.2.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

Los resultados obtenidos en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 son los indicados en la Tabla N° 6.6.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla N° 6.6. Valores promedio de pH del Efluente del Reactor D.H.S. 01

PARAMETRO	PH					
	D.H.S.			D.H.S.		
EFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	7.51	8.35	8.06	6.97	8.17	7.60

Como puede apreciarse en la tabla N° 6.6, el pH en promedio en invierno fue de 8.06 y en primavera fue de 7.60 oscilando dentro del rango recomendable para el tratamiento biológico, es decir durante la operación de los reactores los microorganismos tuvieron condiciones favorables para su desarrollo y crecimiento, lo cual beneficia a la eficiencia del proceso.

Sin embargo, hubo días donde el pH se encontraba ligeramente por debajo del valor promedio. Teniendo en la primavera el valor mínimo a 6.97 originado por el crecimiento de algas en los envases que trajo como consecuencia el aumento de CO₂ y una disminución del pH ya que son valores que dependen de manera inversamente proporcional es decir si el pH disminuye es porque hay aumento de la concentración de CO₂ en este caso proveniente de la aparición de algas debido a la exposición de la luz solar.

A continuación se muestra la variación gráficamente del PH (Ver gráfico N° 6.5)

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

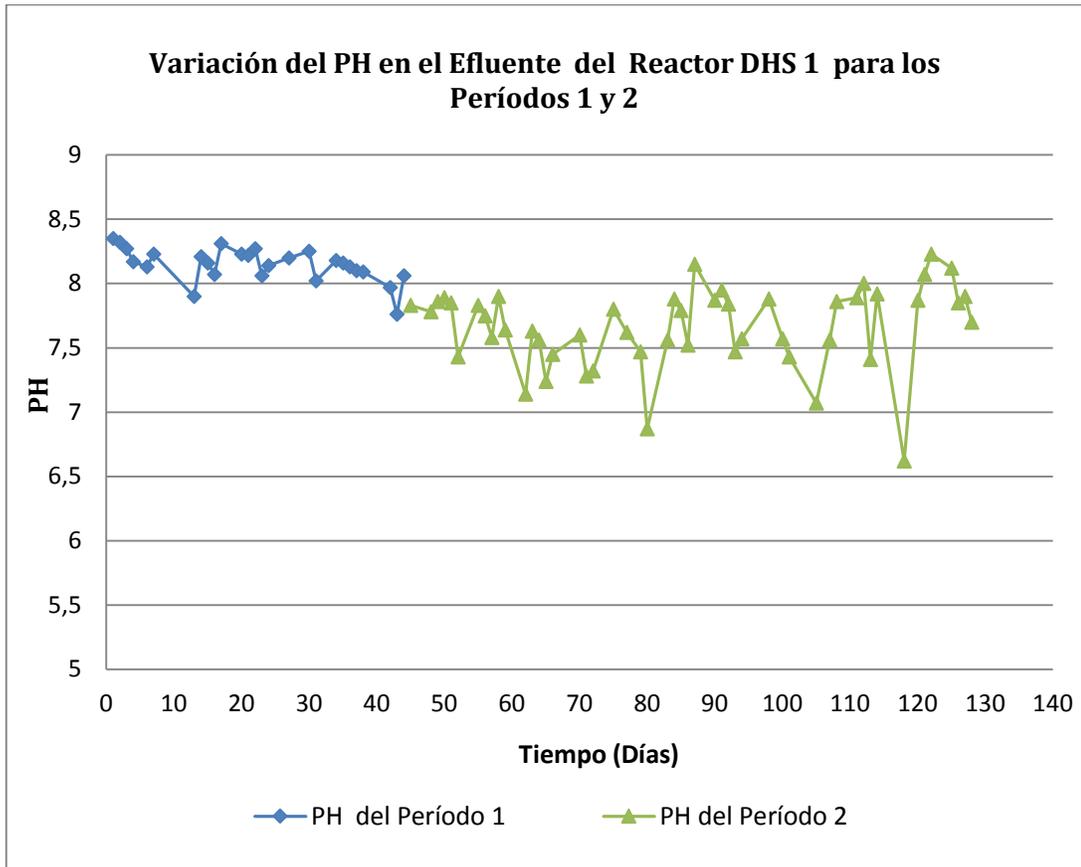


Gráfico N° 6.5. Variación del pH en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

En los gráfico 6.5 se puede apreciar que existe un ligero incremento del pH a la salida de del D.H.S. 01, además se pudo notar que durante los meses de estudio hubo condiciones favorables para el crecimiento de la biomasa.

VI.1.2.3. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 02

Los resultados obtenidos en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 son lo indicados en la tabla N° 6.7.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Tabla N° 6.7. Valores promedio de pH del Efluente del Reactor D.H.S. 02

PARAMETRO	PH					
	D.H.S.			D.H.S.		
EFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	7.42	8.33	7.95	6.62	8.23	7.64

Como puede apreciarse en la tabla N° 6.7, el pH en promedio en invierno fue de 7.95 y en primavera fue de 7.64 oscilando dentro del rango recomendable para el tratamiento biológico, es decir durante la operación de los reactores los microorganismos tuvieron condiciones favorables para su desarrollo y crecimiento, lo cual beneficia a la eficiencia del proceso.

A continuación se muestra la variación gráficamente del pH (Ver gráfico N° 6.6)

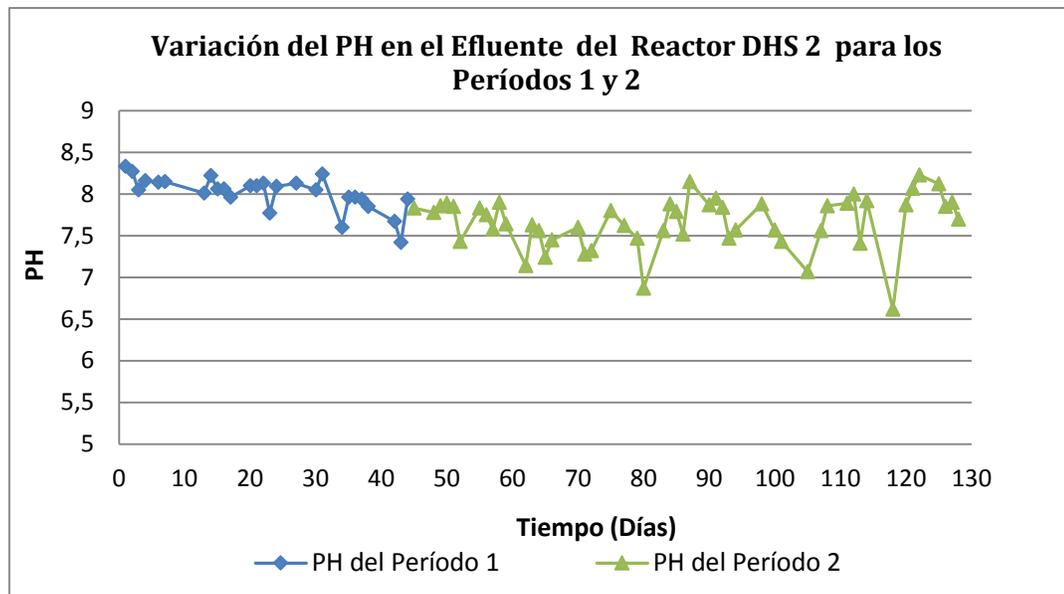


Gráfico N° 6.6. Variación del pH en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

En los gráfico N° 6.9 se puede apreciar que existe que oscila el pH en el mismo valor a la salida de del D.H.S. 02, además se pudo notar que durante los meses de estudio hubo condiciones favorables para el crecimiento de la biomasa.

VI.1.3. TURBIEDAD

Se denomina así al fenómeno que se produce al incidir sobre las partículas o coloides un haz de luz, éste es dispersado en cantidades directamente proporcionales a la presencia de los coloides, dependiendo del tamaño y cantidad de los mismos.

La turbiedad del agua se debe esencialmente a materias en suspensión, tales como arcilla y otras sustancias inorgánicas finamente divididas, o materias similares y organismos microscópicos.

La Turbiedad se midió diariamente desde el 20 de Julio del 2010 hasta el 30 de Junio del 2010 la primera fase con un caudal de 8.1 l/día (41 gotas/min) y la segunda fase del 09 de Setiembre del 2010 con un caudal de 16.2 l/día (82 gotas/min). Normalmente se tomó tres mediciones durante el día, la primera a las 10.00 a.m. la segunda a las 12.00 pm y la tercera a las 3.00 pm aproximadamente. Los valores promedio de la turbiedad se muestran a continuación:

VI.1.3.1. Resultados de la caracterización en el Afluente del reactor D.H.S.

Tabla N° 6.8. Valores promedio de Turbiedad en el Afluente del Reactor D.H.S.

PARAMETRO	TURBIEDAD (FAU)					
	D.H.S.			D.H.S.		
AFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	76.00	240.00	130.33	75.00	375.00	151.98

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

De la tabla N° 6.8, se puede apreciar que la turbiedad promedio se incrementa en primavera debido a los factores climatológicos como la luz solar así como también el probable arrastre de partículas que forman parte del lodo anaerobio debido a la succión en el bombeo hacia el tanque de almacenamiento desde el U.A.S.B.

La turbiedad alcanzó valores mínimos valores, cuando se realizaba la limpieza del tanque de sedimentación y el tanque de regulación. Mientras que cuando no se limpiaba los tanques, los valores de turbiedad reflejaban la turbiedad de la muestra y los sedimentos de días anteriores.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la Turbiedad del Afluente del Reactor D.H.S. (Ver gráfico N° 6.7)

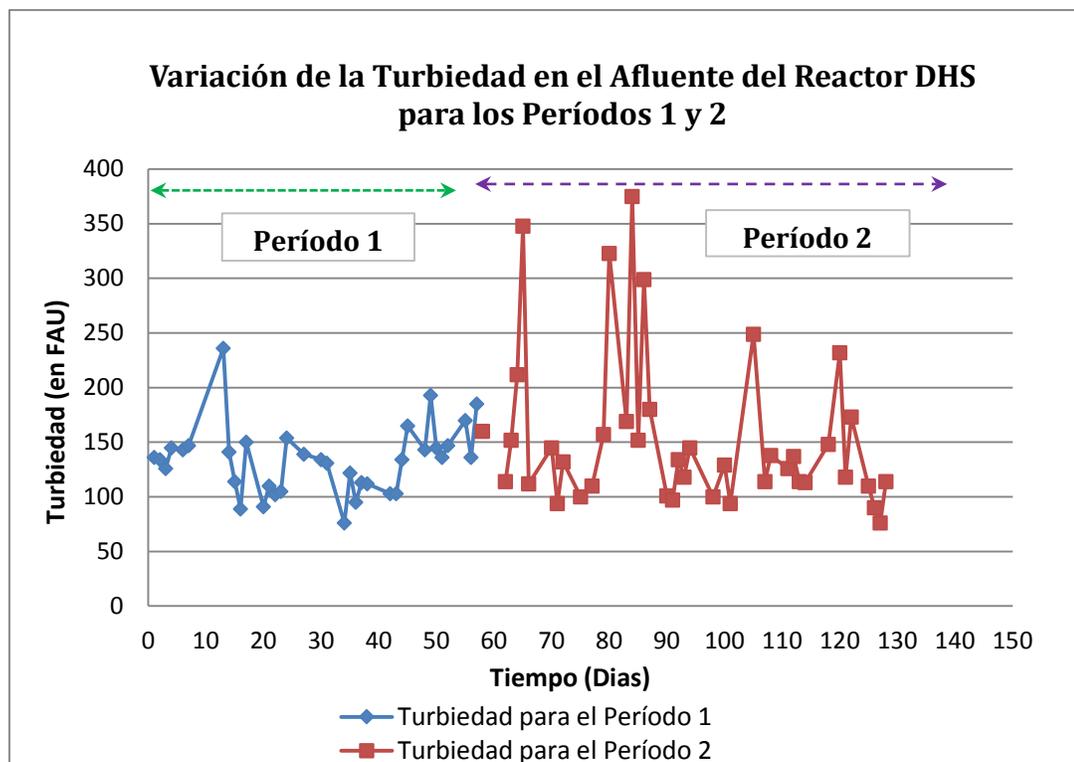


Gráfico N° 6.7. Variación del pH en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Se puede concluir que la turbiedad se incrementó en el Afluente debido al arrastre de partículas en el momento de la succión de la bomba hacia el tanque de almacenamiento. Además se observaron valores picos cuando el tanque de almacenamiento tenía sedimentos en el fondo, es decir, hacía falta el lavado del tanque.

VI.1.3.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

Los resultados obtenidos en el Efluente del reactor D.H.S. 01 son lo indicados en la tabla N° 6.9.

Tabla N° 6.9. Valores promedio de Turbiedad en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

PARAMETRO	TURBIEDAD (FAU)					
	D.H.S.			D.H.S.		
EFLUENTE						
CAUDAL	8.11 /día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	15.00	157.00	51.97	17.00	148.00	46.66

De la tabla N° 6.9, se puede apreciar que la turbiedad promedio en invierno es igual a 51.97 FAU y en primavera es igual a 46.66 FAU esto es debido a que en los picos altos de turbiedad no hubo un adecuado mantenimiento, originado más turbiedad de lo que normalmente se debería dar de acuerdo a los valores mínimos de 15 FAU y 17 FAU Asimismo, los valores de turbiedad reflejaban la turbiedad de la muestra y los sedimentos de días anteriores.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la Turbiedad del efluente del Reactor D.H.S. 01 (Ver gráfico N° 6.8)

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

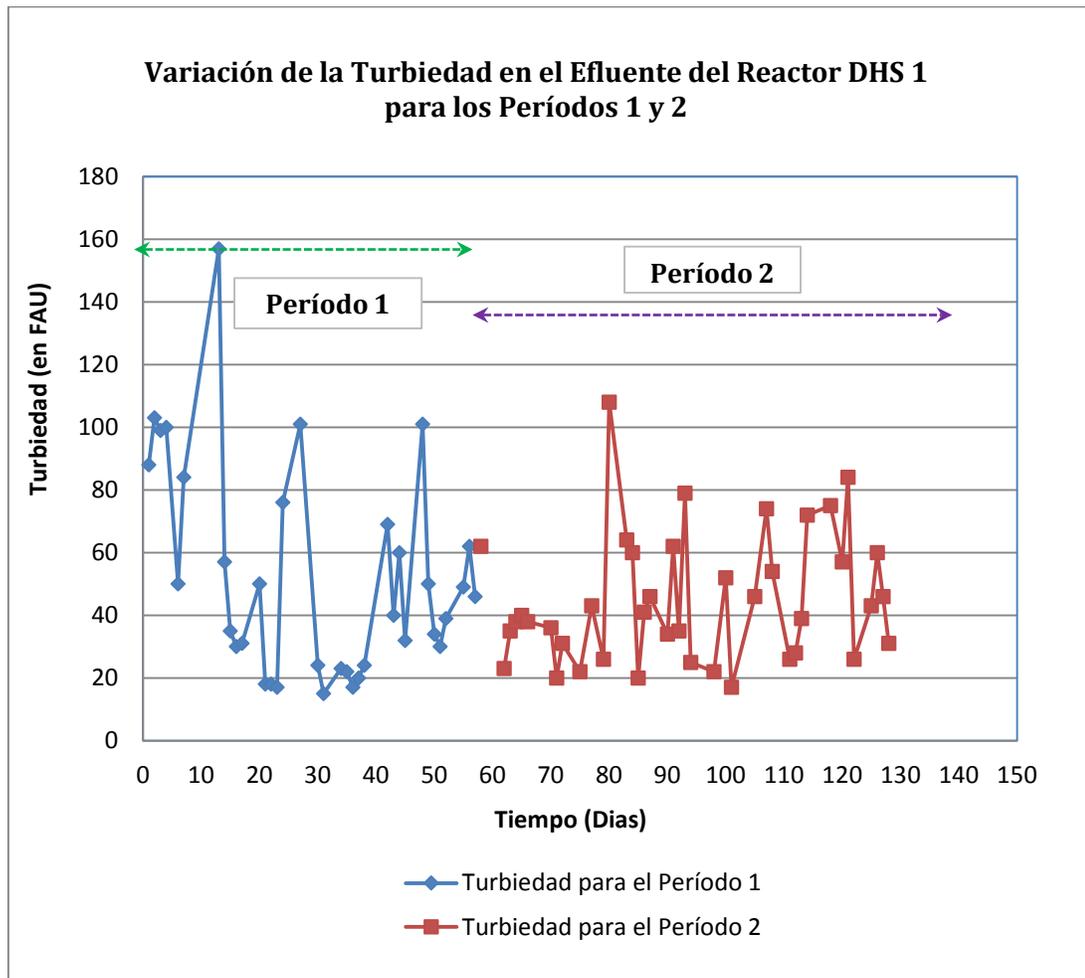


Gráfico N° 6.8. Variación de la Turbiedad en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

VI.1.3.3. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S. 02

Los resultados obtenidos en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 son los indicados en la tabla N° 6.10

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla Nº 6.10. Valores promedio de Turbiedad del Efluente del Reactor D.H.S. 2

PARAMETRO	TURBIEDAD (FAU)					
	D.H.S.			D.H.S.		
EFLUENTE						
CAUDAL	8.1 l /día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	10.00	236.00	51.44	18.00	137.00	43.49

De la tabla Nº 6.10, se puede apreciar que la turbiedad promedio en invierno es igual a 51.44 y en primavera es igual a 43.49 esto es debido a que en los picos altos de turbiedad no hubo un adecuado mantenimiento adecuado originando más turbiedad de lo que normalmente se debería dar de acuerdo a los valores mínimos de 10 FAU y 18 FAU. Asimismo, los valores de turbiedad reflejaban la turbiedad de la muestra y los sedimentos de días anteriores.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la Turbiedad del efluente del reactor D.H.S. 02 (Ver gráfico Nº 6.9).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

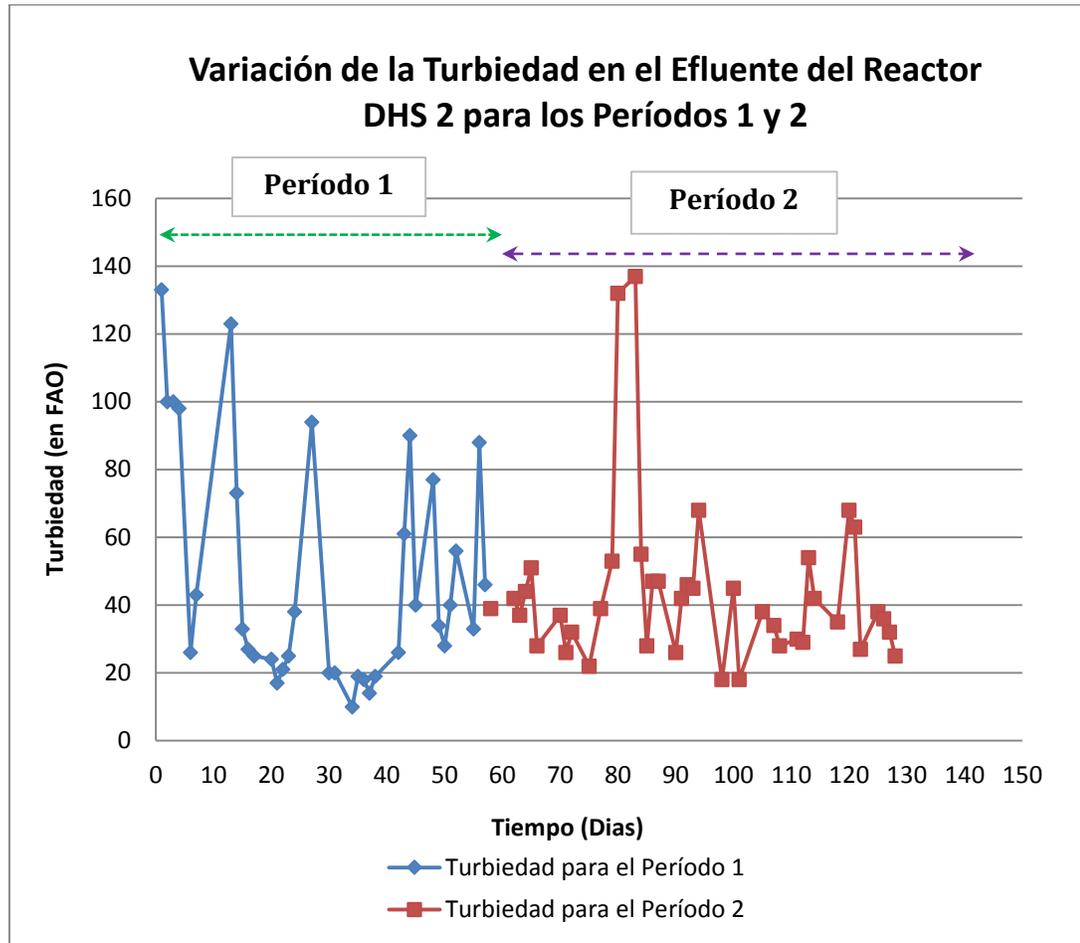


Gráfico N° 6.9. Variación de la Turbiedad en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas/min) para el Período 2

Se puede concluir que la turbiedad disminuyó a gran escala con relación a la turbiedad del afluente además se observaron valores picos cuando los reactores tenían sedimentos, es decir, hacía falta el lavado de los reactores.

VI.1.4. OXIGENO DISUELTO

En desagües domésticos el O.D. es el factor que determina si los cambios biológicos son hechos por organismos aeróbicos o anaeróbicos.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

El Oxígeno Disuelto se midió desde el 21 de Julio al 22 de Julio, del 26 de Julio al 04 de Agosto y del 21 Octubre al 02 de Diciembre del 2010 Los valores promedio de Oxígeno Disuelto del Afluente del D.H.S. se muestran a continuación:

**VI.1.4.1. Resultados de la caracterización en el Afluente del Reactor
D.H.S.**

Los resultados obtenidos en el Afluente del Reactor D.H.S. son lo indicados en la tabla N° 6.11.

**Tabla N° 6.11. Valores promedio de Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor
D.H.S.**

PARAMETRO	OXIGENO DISUELTO (mg/l)					
	D.H.S.			D.H.S.		
AFLUENTE	8.11 /día			16.2 l/día		
CAUDAL	8.11 /día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	0.02	3.41	1.04	0.2	2.35	0.7

De la tabla N° 6.11 se puede apreciar que el promedio de Oxígeno Disuelto en invierno es 1.04 mg/l y en primavera disminuye a 0.70 mg/l, lo cual puede deberse a que la muestra haya estado expuesta al medio ambiente antes de tomar la medición ya que normalmente la medición del oxígeno debe de ser cero, dado que el afluente proviene de un tratamiento anaerobio U.A.S.B. A continuación se muestra la variación gráficamente del Oxígeno Disuelto en el Afluente del Reactor D.H.S. (Ver gráfico N° 6.10).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

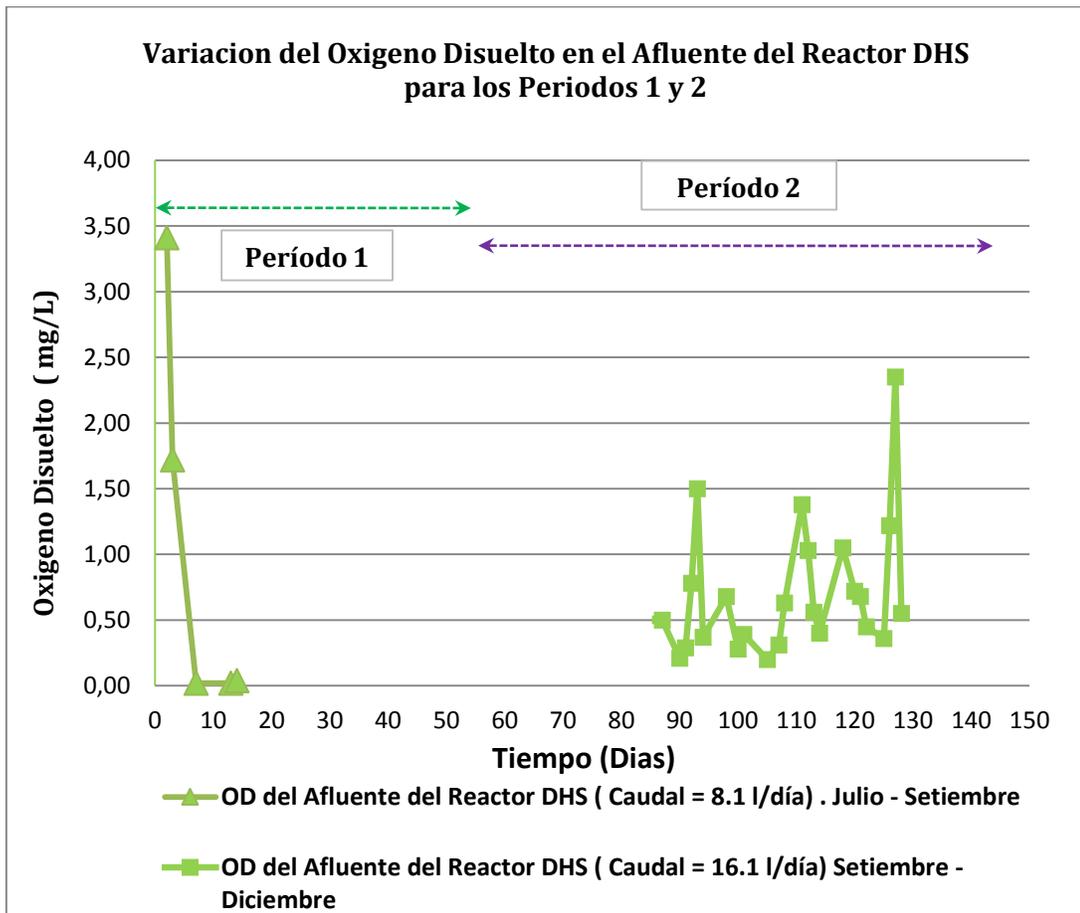


Gráfico Nº 6.10. Variación del Oxígeno Disuelto en el Afluente del Reactor DHS de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se nota que hay pequeños incrementos de OD en el Afluente debido a una oxigenación con el medio ambiente en el momento de tomar la muestra de medición ya que normalmente el OD proveniente de un proceso anaerobio es muy cercano a cero.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**VI.1.4.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor
D.H.S. 1**

Los resultados obtenidos en el Efluente del Reactor D.H.S. 1 son los indicados en la Tabla N° 6.12

**Tabla N° 6.12. Valores promedio de Oxígeno Disuelto en el Efluente del
Reactor D.H.S. 01**

PARAMETRO	OXIGENO DISUELTO (mg/l)					
	D.H.S.			D.H.S.		
EFLUENTE						
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	5.92	7.17	6.68	4.64	6.95	5.34

De la tabla N° 6.12, se puede apreciar que el promedio de Oxígeno Disuelto en invierno es 6.68 mg/l y en primavera es 5.34 mg/l disminuye, lo cual se debe a que ha tenido una oxigenación adecuada. A continuación se muestra la variación gráficamente del Oxígeno Disuelto en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 (Ver gráfico N° 6.11).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

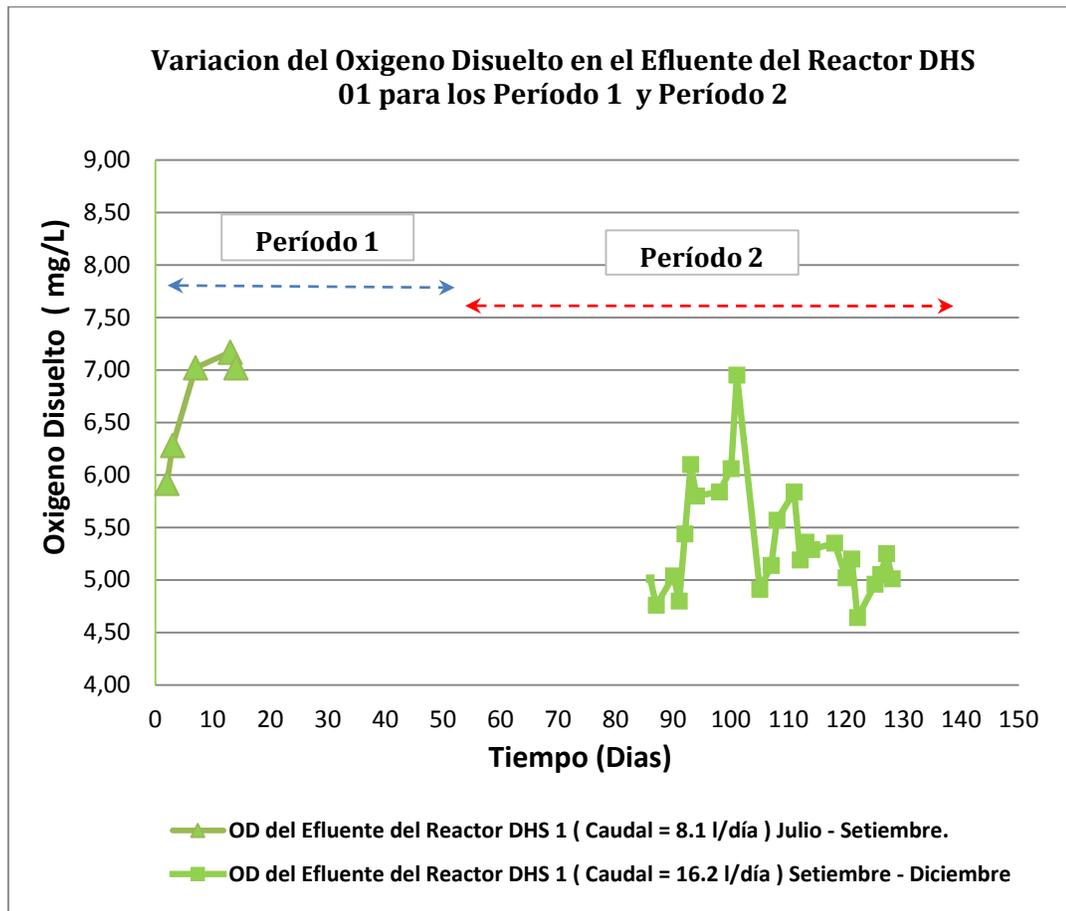


Gráfico N° 6.11. Variación del Oxígeno Disuelto en el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.

Se puede apreciar que ha tenido una buena oxigenación el proceso de remoción de contaminantes con valores por encima de 4 mg/l.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

VI.1.4.3. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S.

2:

Los resultados obtenidos en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 son los indicados en la tabla N° 6.13

**Tabla N° 6.13. Valores promedio de Oxígeno Disuelto del Efluente del Reactor
D.H.S. 02**

PARAMETRO	OXIGENO DISUELTO (mg/l)					
	D.H.S.			D.H.S.		
EFLUENTE						
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	20/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 02/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	5.01	7.16	6.23	4.45	7.58	5.38

De la tabla N° 6.13, se puede apreciar que el promedio de Oxígeno Disuelto en invierno es 6.23 mg/l y en primavera es 5.38 mg/l disminuye, lo cual se debe a que ha tenido una oxigenación adecuada. A continuación se muestra la variación gráficamente del Oxígeno Disuelto en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.12.).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

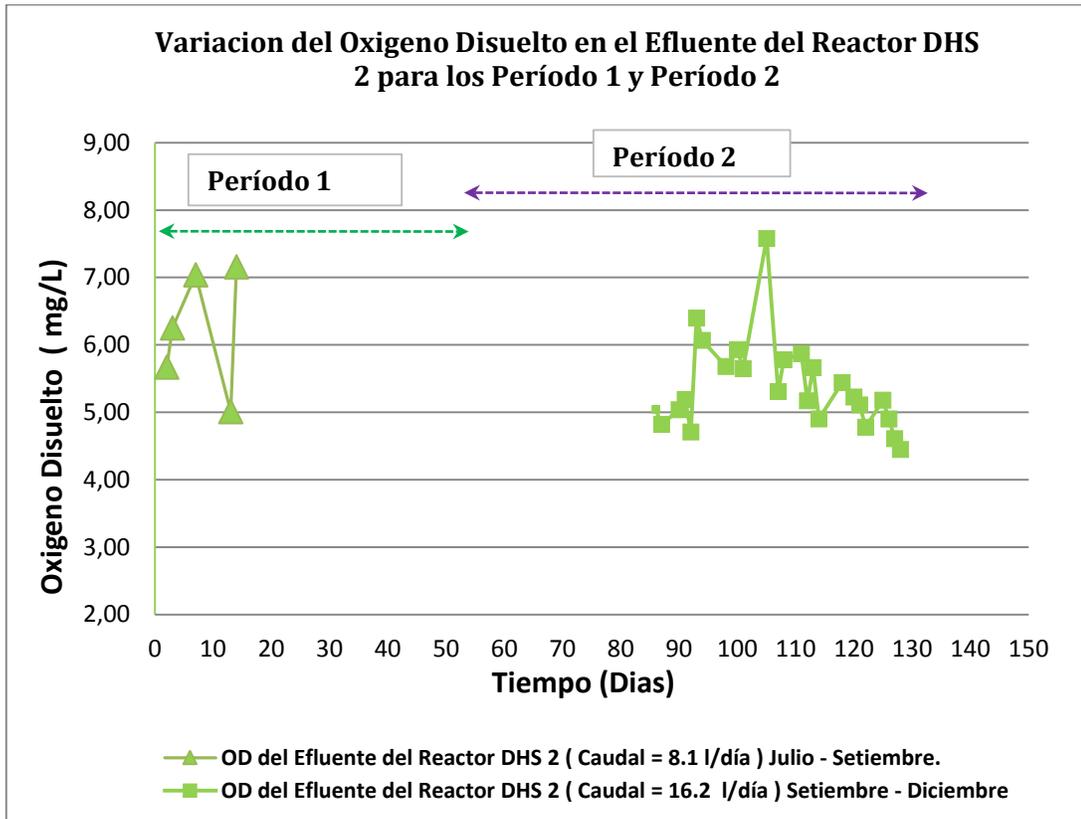


Gráfico Nº 6.12. Variación del Oxígeno Disuelto en el Efluente del Reactor DHS 2 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Aquí se confirma los valores obtenidos de OD en el Reactor del DHS 1 dando como resultado valores por encima de 4 mg/l.

Además, también podemos observar las comparaciones de los valores de OD obtenidos en relación:

- Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor DHS y el Efluente del Reactor D.H.S. 01
- Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor DHS y el Efluente del Reactor D.H.S. 02

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Como se muestra a continuación:

El Oxígeno disuelto del afluente del reactor del D.H.S. para los caudales de 8.1 l/día y 16.2 l/día tuvo valores bajos cercanos de 0 mg/l, esto es debido que la muestra proviene de un proceso anaerobio (Efluente U.A.S.B.). Por otro lado, para el efluente del reactor del D.H.S. 1 para los caudales de 8.1 l/día y 16.2 l/día los valores de O.D. estuvieron entre 5mg/l y 7 mg/l, siendo estos resultados muy óptimos como post tratamiento del U.A.S.B. a nivel de O.D. Ver gráfico N° 6.13.

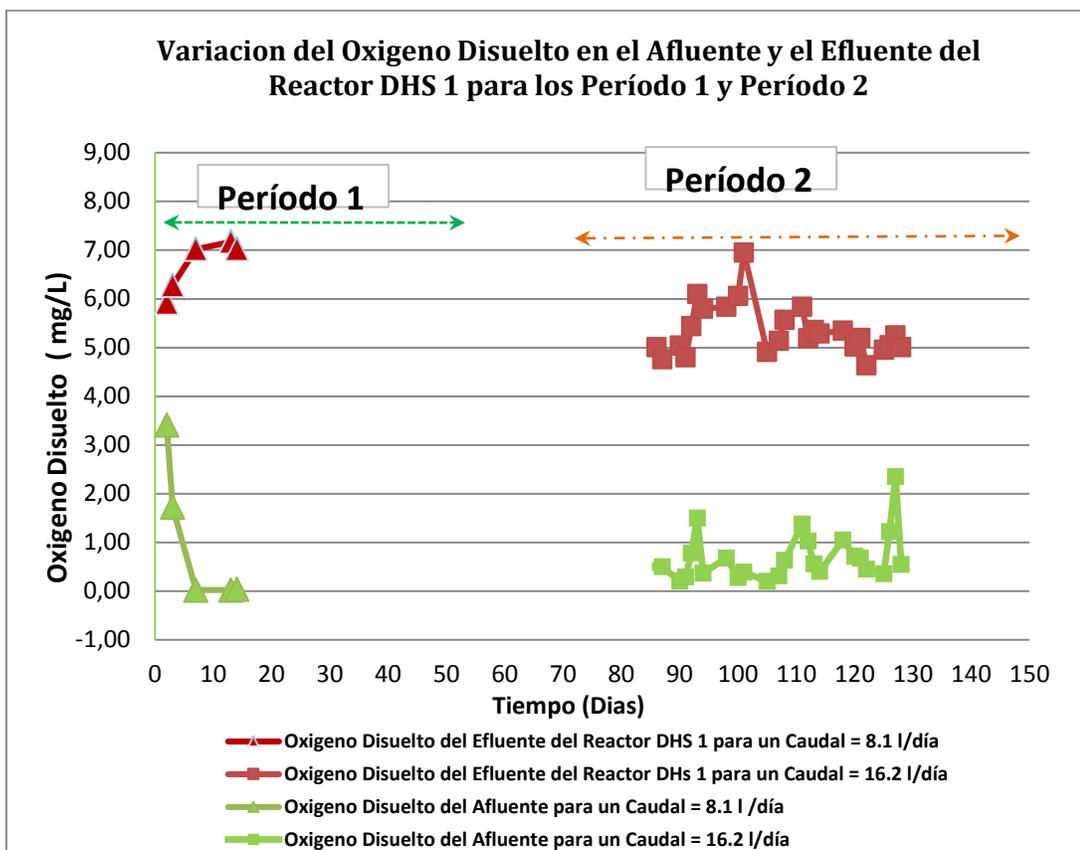


Gráfico N° 6.13. Variación del Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor DHS y el Efluente del Reactor DHS 1 de Julio a Setiembre. Caudal = (8.1 l/día – Línea con triángulos) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. (Caudal = 16.2 l/día- Línea con cuadrados) Período 2.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Por otro lado, en el caso del afluente del DHS se obtuvo valores bajos cercanos de 0 mg/l con ligeros incrementos debido a que la muestra estuvo expuesta al medio ambiente antes de medirla, y para los valores cercanos a cero es debido que la muestra proviene de un proceso anaerobio (Efluente U.A.S.B.) como antes se mencionó. Sin embargo, para el efluente del D.H.S. 02 los valores de O.D. variaron entre 4.5 mg/l y 7 mg/l, siendo estos valores muy favorables como resultado de O.D. Es decir que el D.H.S. es muy óptimo como post tratamiento de U.A.S.B. a nivel de O.D. Ver gráfico N° 6.14.

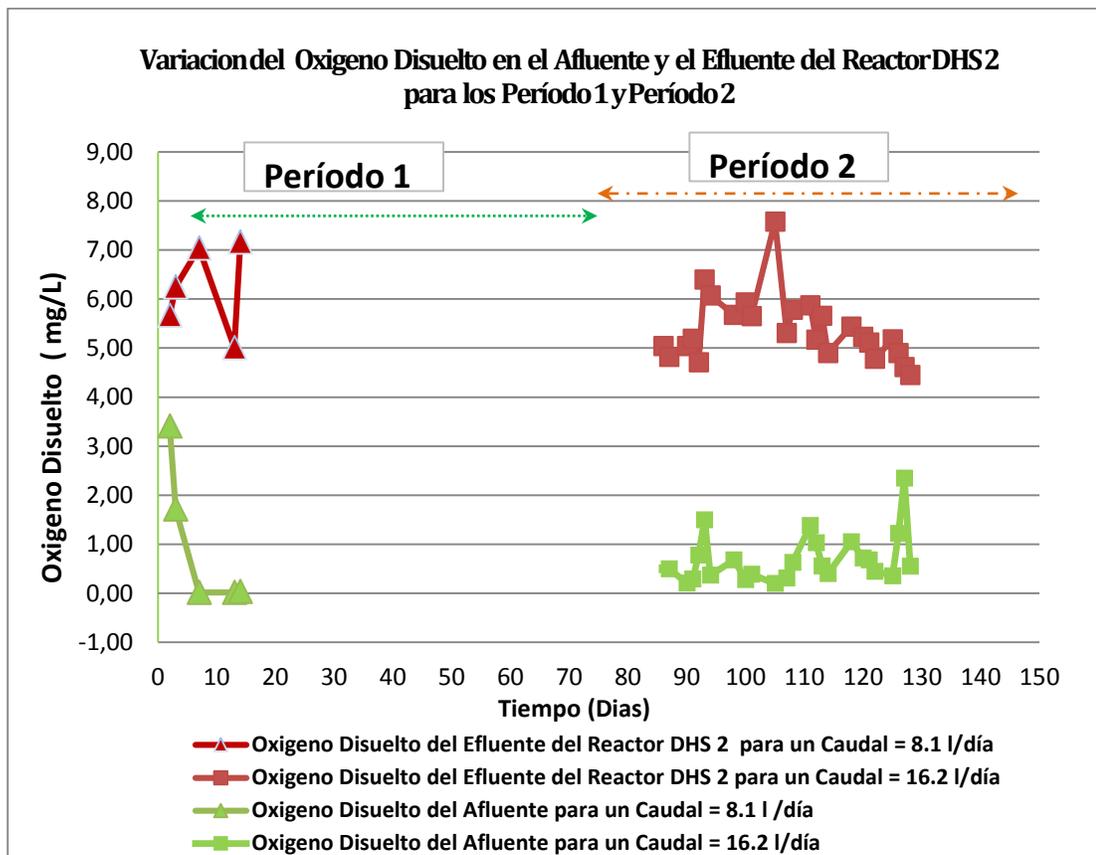


Gráfico N° 6.14. Variación del Oxígeno Disuelto del Afluente del Reactor D.H.S. y el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = (8.1 l/día – Línea con triángulos) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día- Línea con cuadrados) Período 2.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

En todos los casos los valores del O.D. de los efluentes del reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 se notó buenos resultados de O.D. obteniendo valores entre 4 mg/l y 7 mg/l. (Ver gráficos 6.13 y 6.14).

VI.1.5. SÓLIDOS TOTALES

Los Sólidos Totales corresponden a la sumatoria de los sólidos disueltos y sólidos suspendidos, los cuales se midieron desde el 17 de Agosto del 2010 (Periodo 1) hasta el 10 de diciembre del 2010 (Periodo 2). Los valores promedio de Sólidos Totales se muestran a continuación:

VI.1.5.1. Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.

Tabla N° 6.14. Valores promedio de Sólidos Totales en el Afluente del Reactor D.H.S.

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		AFLUENTE D.H.S (mg/l)
17/08/2010	1	870
01/09/2010	16	721
21/10/2010	66	1736
28/10/2010	73	1960
04/11/2010	80	1656
17/11/2010	93	1444
10/12/2010	116	1172

De la Tabla N° 6.14, se puede apreciar que los sólidos totales se mantienen constantes durante el proceso de tratamiento. Así mismo, en el Gráfico N° 6.15 se puede observar una disminución de los sólidos totales conforme pasan los días esto es debido al mantenimiento adecuado de los reactores D.H.S.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Totales en el Afluente del Reactor DHS (Ver gráfico N° 6.15).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

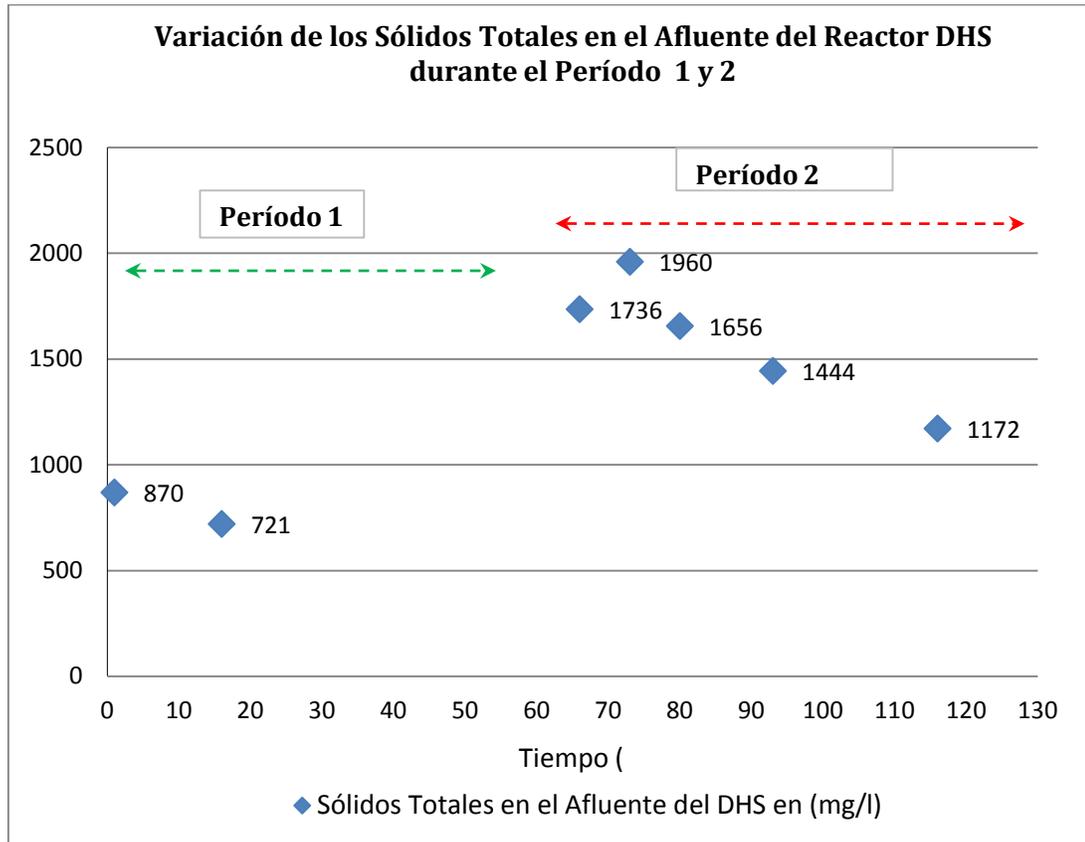


Gráfico N° 6.15. Variación de los Sólidos Totales en el Afluyente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.

Se puede ver una disminución de sólidos totales en el afluyente del reactor D.H.S. en los dos periodos de investigación debido a que el tanque de almacenamiento ha tenido un mantenimiento adecuado.

VI.1.5.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

Los resultados obtenidos en el Efluente D.H.S. 1 son lo indicados en la Tabla N° 6.15.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla N° 6.15. Resultados de los Sólidos Totales del Efluente D.H.S. 01.

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		EFLUENTE D.H.S 01 (mg/l)
17/08/2010	1	872
01/09/2010	16	699
21/10/2010	66	896
28/10/2010	73	784
04/11/2010	80	780
17/11/2010	93	796
10/12/2010	116	596

De la Tabla N° 6.15, se puede apreciar que los sólidos totales se mantienen decrecen en los dos periodos respectivamente durante el proceso de tratamiento. Así mismo, en la tabla se puede observar una disminución de los sólidos totales conforme pasa el tiempo para cada periodo.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 1 (Ver gráfico N° 6.16).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

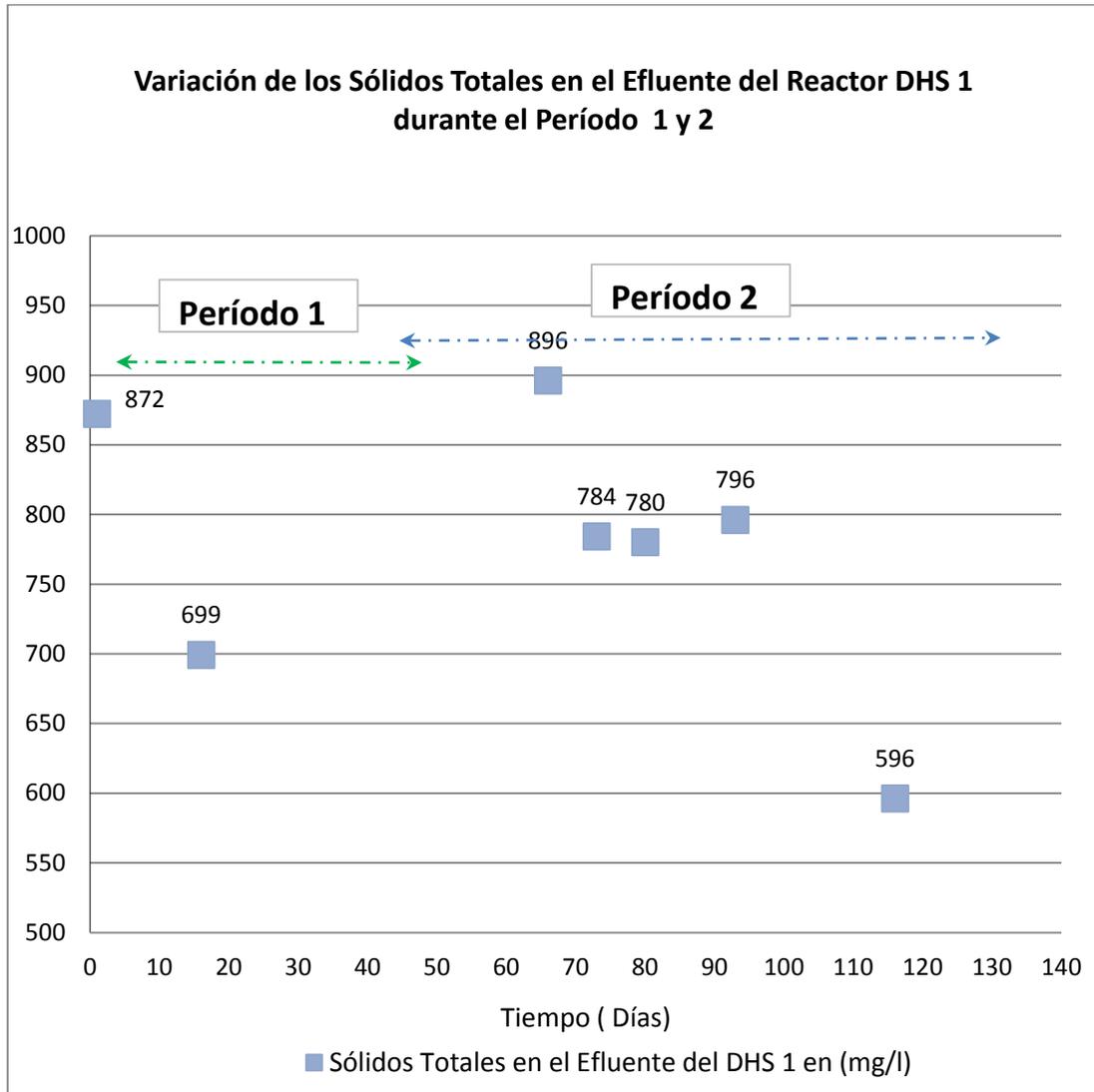


Gráfico Nº 6.16. Variación de los Sólidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una disminución de sólidos totales en el efluente del reactor D.H.S. 01 conforme pasa el tiempo debido al buen funcionamiento del reactor.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**VI.1.5.3. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor
D.H.S. 02**

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente D.H.S. 01 son lo indicados en la tabla N° 6.16.

Tabla N° 6.16. Valores promedio de Sólidos Totales del Efluente del D.H.S. 02

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		EFLUENTE D.H.S 01 (mg/l)
17/08/2010	1	804
01/09/2010	16	709
21/10/2010	66	644
28/10/2010	73	1736
04/11/2010	80	684
17/11/2010	93	784
10/12/2010	116	456

De la tabla N° 6.16 se puede apreciar que los sólidos totales del efluente del reactor D.H.S. 02 tienen una ligera disminución con respecto a la remoción de Sólidos Totales.

Así mismo, en el gráfico N° 6.17 se puede observar el incremento de los sólidos totales durante el día 73.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

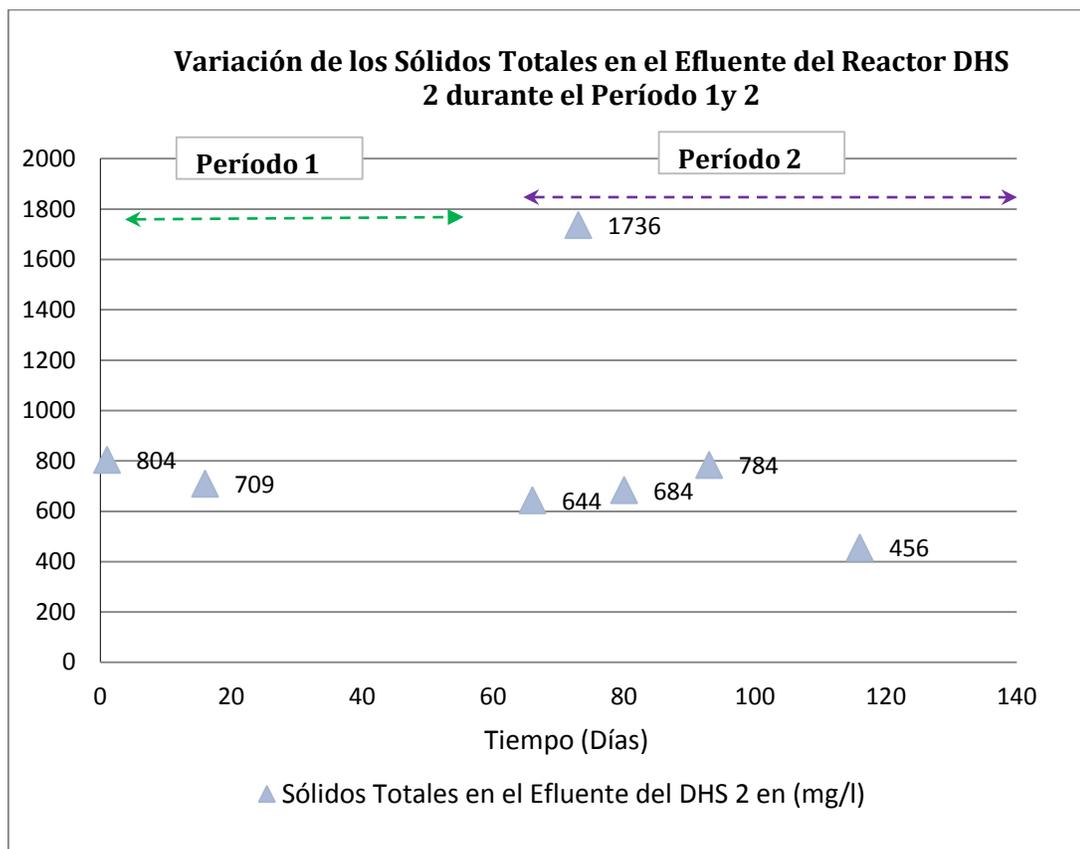


Gráfico Nº 6.17. Variación de los Sólidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una disminución de sólidos totales en el efluente del reactor D.H.S. 02 debido al buen funcionamiento del reactor.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

VI.1.6. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

VI.1.6.1. Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente D.H.S. 01 son lo indicados en la tabla N° 6.17

Tabla N° 6.17. Valores promedio de Sólidos Suspendidos en el Afluente del D.H.S.

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		AFLUENTE D.H.S (mg/l)
17/08/2010	1	N.D.
01/09/2010	16	N.D.
21/10/2010	66	636
28/10/2010	73	908
04/11/2010	80	612
17/11/2010	93	460
10/12/2010	116	340

Leyenda:

ND: No se determinó.

Como se puede apreciar en la tabla N° 6.17, los sólidos suspendidos totales en el afluente del reactor D.H.S. en promedio representan el 32.8 % de los Sólidos Totales para el periodo 2. Además se observa que los sólidos suspendidos disminuyen gracias al decantador implementado después del reactor D.H.S. como se muestra en los días 93 y 116. Implementándose un decantador debido a los contenidos de sólidos totales que se encontraron durante el periodo 1.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Suspendidos Totales en el afluente del Reactor D.H.S. (Ver gráfico N° 6.18).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

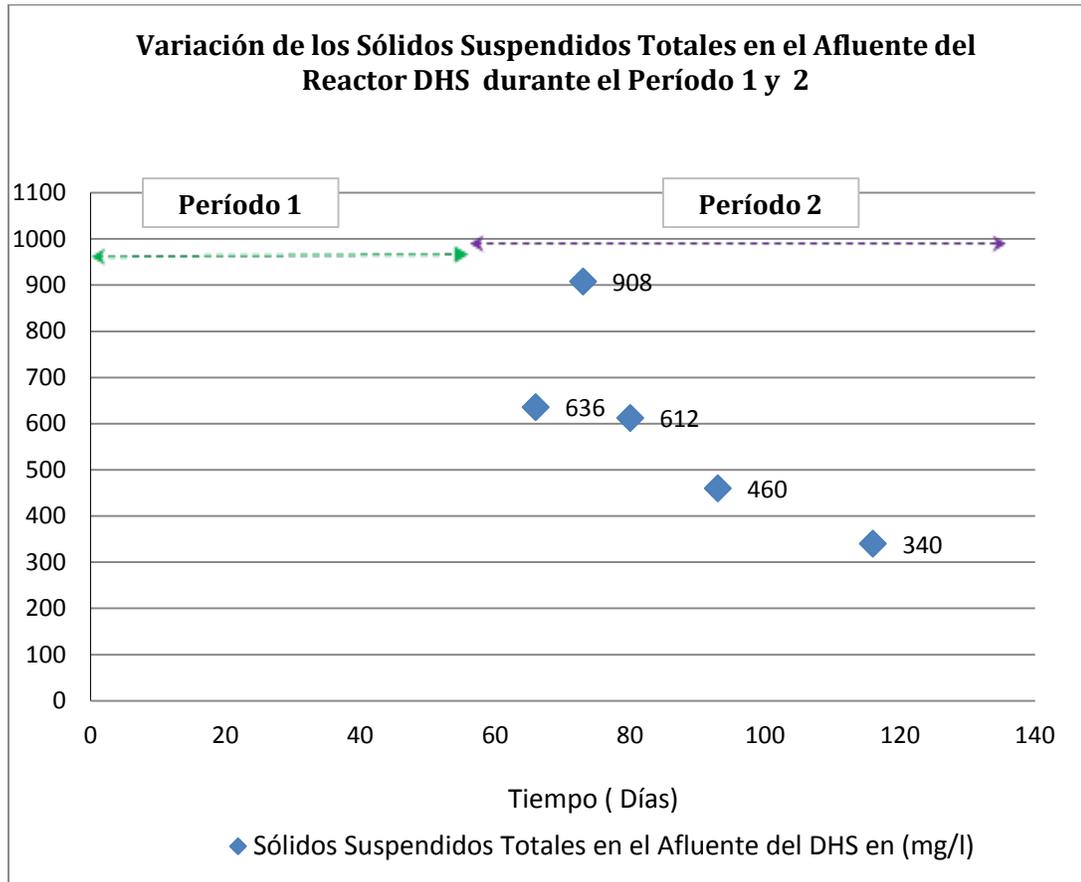


Gráfico Nº 6.18 Variación de los Sólidos Suspendidos Totales en el Afluente del Reactor de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una disminución de sólidos en suspendidos totales en el afluente del reactor D.H.S. debido al mantenimiento adecuado del tanque de almacenamiento.

VI.1.6.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente D.H.S. 01 son los indicados en la tabla Nº 6.18.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**Tabla N° 6.18. Resultados promedio de Sólidos Suspendidos Totales del
Efluente del D.H.S. 01**

FECHA	DIAS	RESULTADOS
		REACTOR D.H.S. 01 (mg/l)
17/08/2010	1	N.D.
01/09/2010	16	N.D.
21/10/2010	66	428
28/10/2010	73	108
04/11/2010	80	52
17/11/2010	93	112
10/12/2010	116	140

Leyenda:

ND: No se determinó.

Como se puede apreciar en la tabla N° 6.18 se observa que los sólidos suspendidos totales en el efluente del reactor D.H.S. 01, tienen una considerable disminución durante el proceso de tratamiento en el periodo 2.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Suspendidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 (Ver gráfico N° 6.19).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

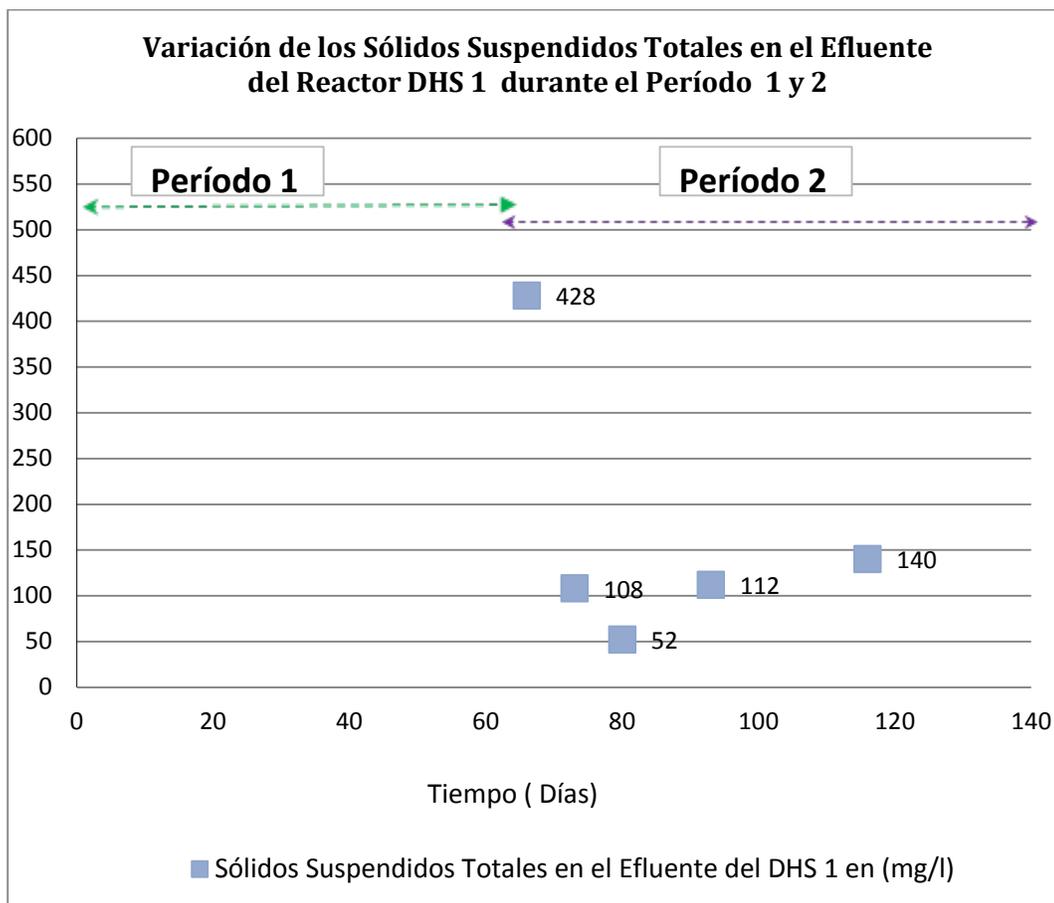


Gráfico Nº 6.19. Variación de los Sólidos Suspendedos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una disminución de sólidos suspendidos totales en el efluente del reactor D.H.S. 01 debido al buen funcionamiento del reactor D.H.S. 01 y a la implementación del decantador después del reactor D.H.S.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**VI.1.6.3. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor
D.H.S. 02**

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente D.H.S. 02 son los indicados en la Tabla N° 6.19.

**Tabla N° 6.19. Valores promedio de Sólidos Suspendidos Totales del Efluente
del D.H.S.02**

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		REACTOR D.H.S. 02 (mg/l)
17/08/2010	1	N.D.
01/09/2010	16	N.D.
21/10/2010	66	4
28/10/2010	73	164
04/11/2010	80	12
17/11/2010	93	84
10/12/2010	116	108

Leyenda:

ND: No se determinó.

Como se puede apreciar en la Tabla N° 6.19 se observa que los sólidos suspendidos totales tienen una ligera variación durante el proceso de tratamiento.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Suspendidos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.20).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

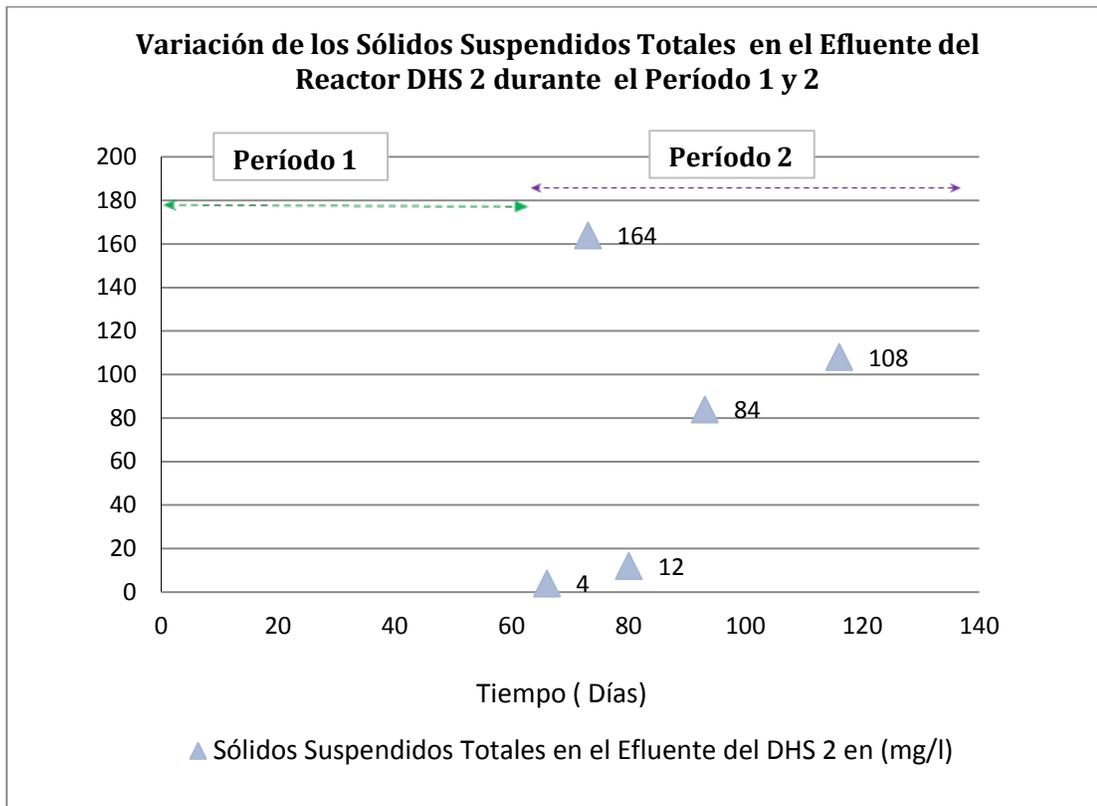


Gráfico Nº 6.20. Variación de los Sólidos Suspendedos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una variación de los sólidos suspendedos totales en el efluente del reactor D.H.S. 02 debido al buen funcionamiento del reactor.

VI.1.7. SÓLIDOS VOLATILES TOTALES

VI.1.7.1. Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.

Los resultados obtenidos en el reactor del afluente D.H.S. son lo indicados en la tabla Nº 6.20.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla N° 6.20. Valores promedio de Sólidos Volátiles del Afluente del D.H.S.

FECHA	DIA	RESULTADOS
		AFLUENTE D.H.S. (mg/l)
17/08/2010	1	254
01/09/2010	16	184
21/10/2010	66	276
28/10/2010	73	1520
04/11/2010	80	1176
17/11/2010	93	808
10/12/2010	116	840

Como se puede apreciar en la tabla N° 6.20 se observa que los sólidos volátiles en el afluente del reactor D.H.S. Tienen una ligera variación debido al mantenimiento del tanque de almacenamiento que viene del bombeo del efluente del reactor U.A.S.B.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Volátiles en el afluente del Reactor D.H.S. (Ver gráfico N° 6.21).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

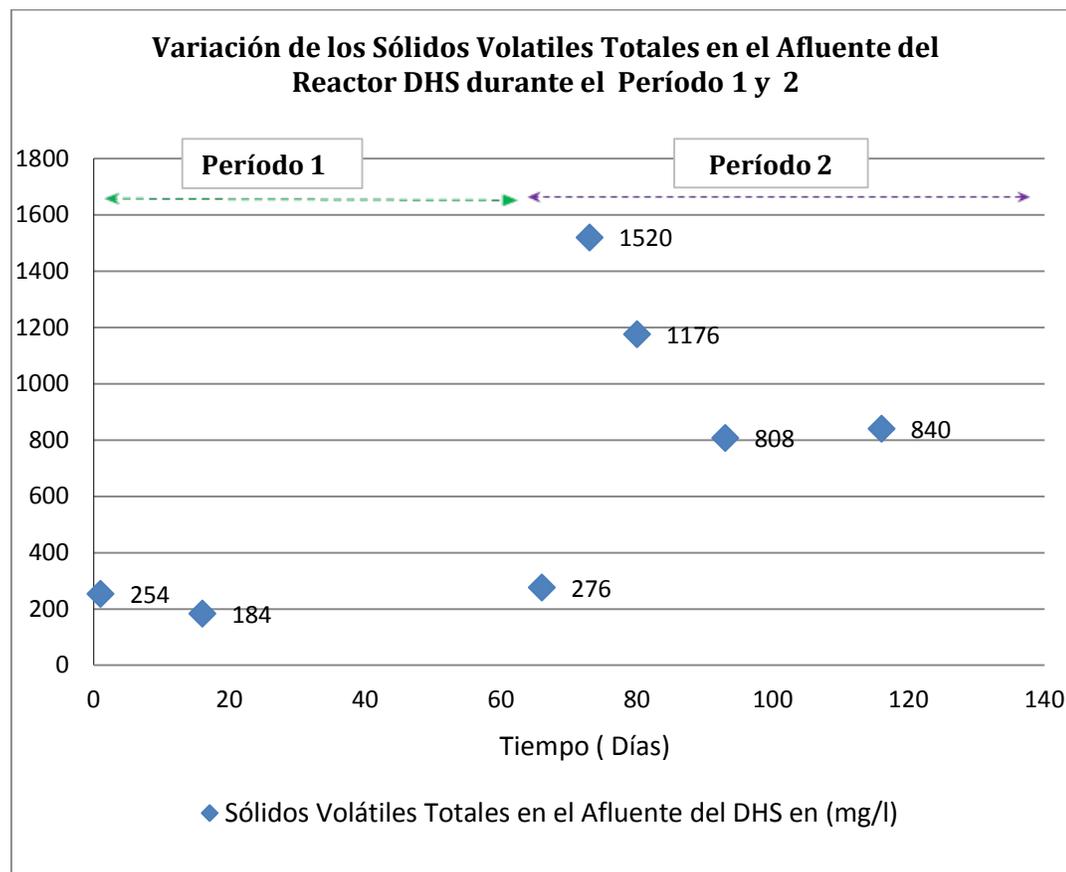


Gráfico Nº 6.21. Variación de los Sólidos Volátiles Totales en el Afluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver que en el periodo 1 se obtuvieron bajos valores de sólidos volátiles totales y en el periodo 2 se hubo un decrecimiento debido a la implementación de un decantador a la salida del reactor D.H.S.

VI.1.7.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente D.H.S. 01 son los indicados en la tabla Nº 6.21.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla N° 6.21. Valores promedio de Sólidos Volátiles del Efluente del D.H.S. 01

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		REACTOR D.H.S. 01 (mg/l)
17/08/2010	1	210
01/09/2010	16	172
21/10/2010	66	20
28/10/2010	73	188
04/11/2010	80	248
17/11/2010	93	236
10/12/2010	116	200

Como se puede apreciar en la Tabla N° 6.21 se observa que los sólidos volátiles en el efluente del reactor D.H.S. 01 tienen una ligera variación durante el proceso de tratamiento.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Volátiles en el efluente del Reactor D.H.S.1 (Ver gráfico N° 6.22).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

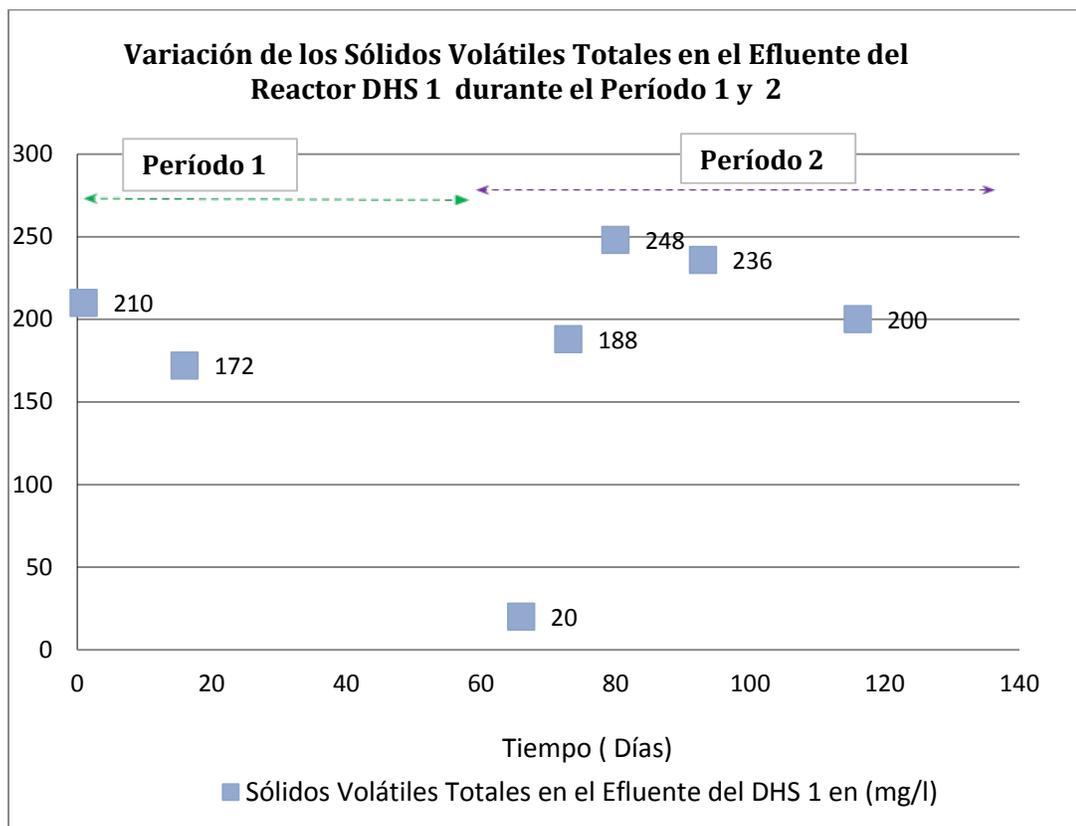


Gráfico N° 6.22. Variación de los Sólidos Volátiles Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una ligera disminución de sólidos volátiles totales para el periodo 1 y variaciones para el periodo 2 en el efluente del reactor D.H.S.

VI.1.7.3. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 02

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente D.H.S. 01 son los indicados en la tabla N° 6.22.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**Tabla N° 6.22. Valores promedio de Sólidos Volátiles Totales del Efluente del
D.H.S. 02**

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		REACTOR D.H.S. 02 (mg/l)
17/08/2010	1	209
01/09/2010	16	148
21/10/2010	66	104
28/10/2010	73	616
04/11/2010	80	72
17/11/2010	93	224
10/12/2010	116	236

Como se puede apreciar en la Tabla N° 6.22 se observa que los sólidos volátiles totales en el efluente del reactor D.H.S. 02 tienen variaciones durante el proceso de tratamiento.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Volátiles en el efluente del Reactor D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.23).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

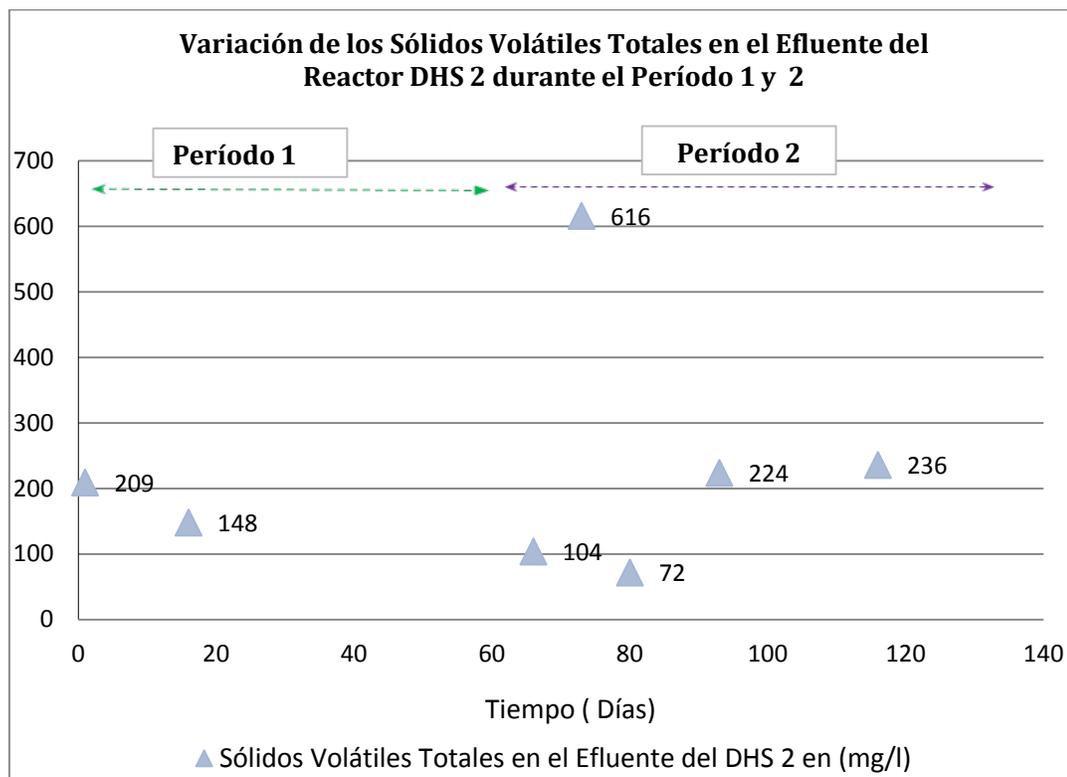


Gráfico N° 6.23. Variación de los Sólidos Volátiles Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una ligera disminución de sólidos volátiles totales en el efluente del reactor D.H.S. 02. Para el periodo 1 y un crecimiento para el periodo 2

VI.1.8. SÓLIDOS FIJOS TOTALES

VI.1.8.1. Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.

Los resultados obtenidos en el afluente del D.H.S. son los indicados en la tabla N° 6.23.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla N° 6.23. Valores promedio de Sólidos Fijos del Afluente del D.H.S.

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		AFLUENTE D.H.S. (mg/l)
17/08/2010	1	616
01/09/2010	16	536
21/10/2010	66	1460
28/10/2010	73	440
04/11/2010	80	480
17/11/2010	93	636
10/12/2010	116	332

Como se puede apreciar en la tabla N° 6.23 se observa que los sólidos fijos totales en el afluente del reactor D.H.S. Tienen una ligera disminución debido al mantenimiento del tanque de almacenamiento que viene del bombeo del efluente del reactor U.A.S.B.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Fijos en el afluente del Reactor D.H.S. (Ver Gráfico N° 6.24).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

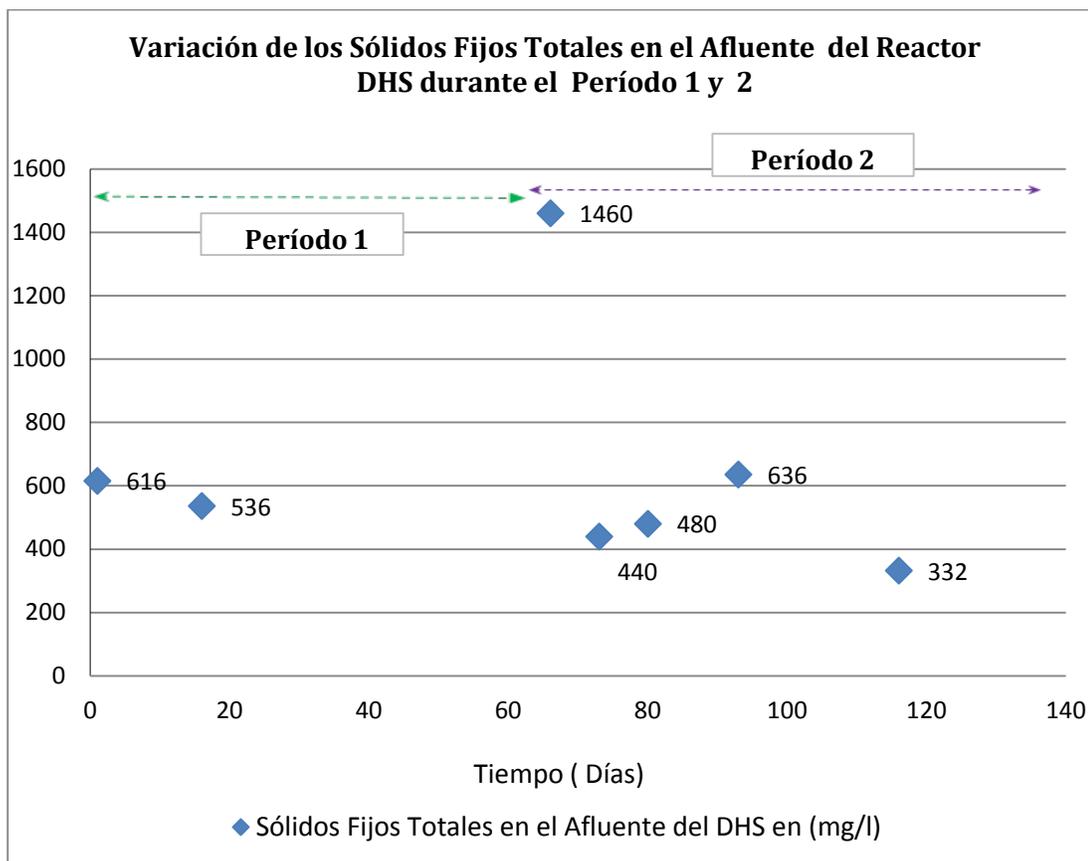


Gráfico Nº 6.24. Variación de los Sólidos Fijos Totales en el Afluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una ligera disminución de sólidos fijos totales en el afluente del reactor D.H.S. para el periodo 1 y periodo 2 debido al mantenimiento del tanque de almacenamiento del efluente del U.A.S.B.

VI.1.8.2. Resultados de la caracterización en el Efluente del Reactor D.H.S. 01

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente D.H.S. 01 son lo indicados en la Tabla Nº 6.24.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**Tabla Nº 6.24. Valores promedio de Sólidos Fijos Totales del Efluente del
D.H.S. 01**

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		REACTOR D.H.S. 01 (mg/l)
17/08/2010	1	662
01/09/2010	16	527
21/10/2010	66	876
28/10/2010	73	596
04/11/2010	80	532
17/11/2010	93	560
10/12/2010	116	396

Como se puede apreciar en la tabla Nº 6.24. Se observa que los sólidos fijos totales en el efluente del reactor D.H.S. 01. Tienen una ligera disminución debido al buen funcionamiento del reactor.

A continuación se muestra la variación gráficamente de Sólidos Fijos en el efluente del Reactor D.H.S. 01 (Ver gráfico Nº 6.25).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

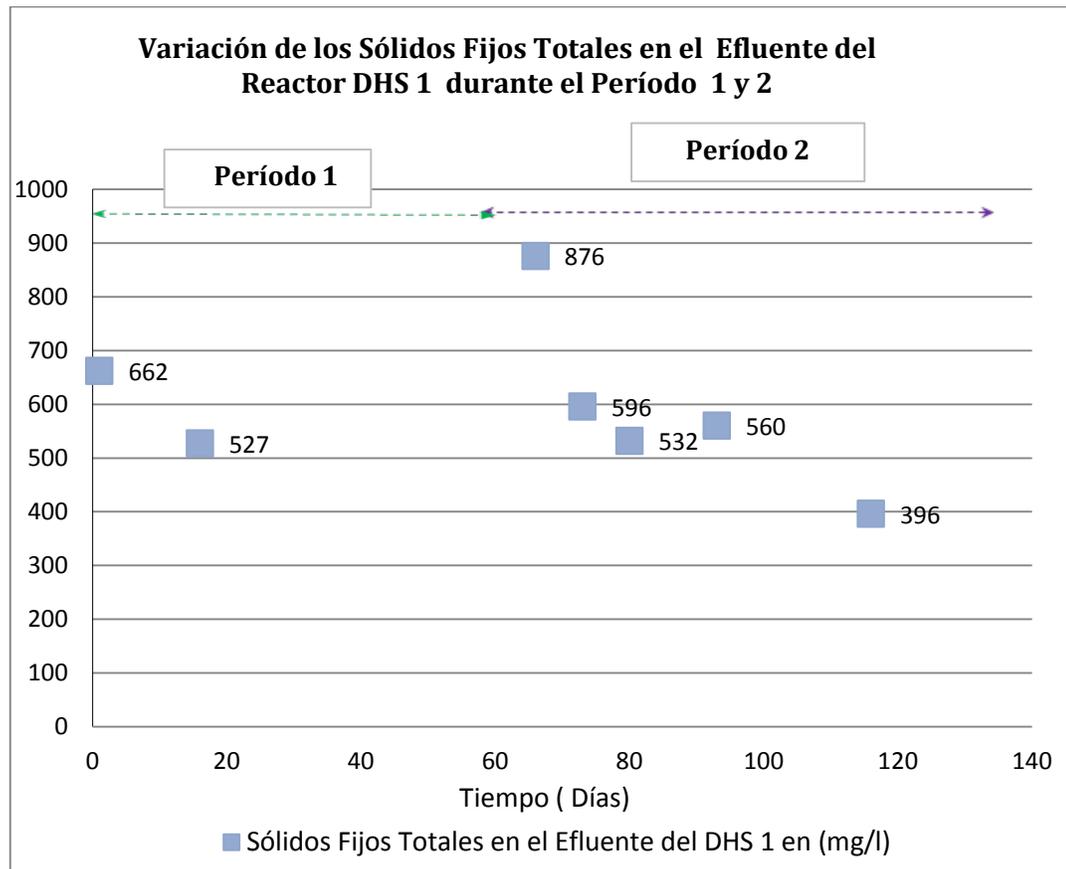


Gráfico Nº 6.25. Variación de los Sólidos Fijos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una ligera disminución de sólidos fijos totales en el efluente del reactor D.H.S. 01 para los periodos 1 y 2.

VI.1.8.3. Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.

2

Los resultados obtenidos en el reactor del efluente del reactor del D.H.S. 02 son los indicados en la Tabla Nº 6.25.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla N° 6.25. Valores promedio de Sólidos Fijos del Efluente del D.H.S. 02

FECHAS	DIAS	RESULTADOS
		REACTOR D.H.S. 02 (mg/l)
17/08/2010	1	595
01/09/2010	16	561
21/10/2010	66	540
28/10/2010	73	332
04/11/2010	80	612
17/11/2010	93	560
10/12/2010	116	220

Como se puede apreciar en la tabla N° 6.25 se observa que los sólidos fijos en el efluente del reactor D.H.S. 02 tienen variaciones durante el proceso de tratamiento.

A continuación se muestra la variación gráficamente de sólidos fijos totales en el efluente del Reactor D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.26).

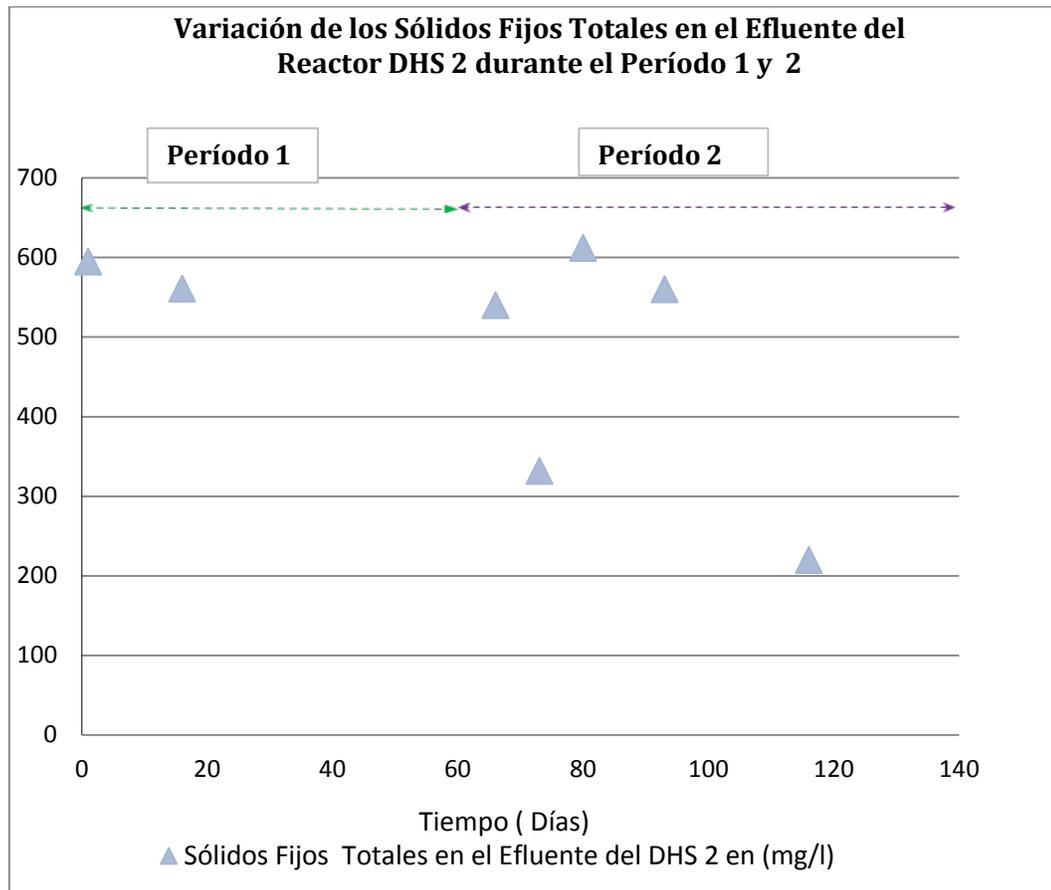
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Gráfico Nº 6.26. Variación de los Sólidos Fijos Totales en el Efluente del Reactor D.H.S. 02, Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver una ligera disminución de sólidos fijos totales en el efluente del reactor D.H.S. 02 para el período 1 y 2 debido al buen funcionamiento del reactor.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

VI.2. ANALISIS FISICOQUIMICOS

VI.2.1. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)

Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20 °C y en presencia de nutrientes.

La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno se midió desde el 01 Setiembre del 2010 Periodo 1 al 10 de Diciembre del 2010 Periodo 2.

VI.2.1.1. Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.

Los resultados obtenidos en el afluente del D.H.S. son los indicados en la tabla N° 6.26.

**Tabla N° 6.26. Valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del
Afluente del D.H.S**

FECHAS	Días	RESULTADOS
		AFLUENTE D.H.S (mg/l)
01/09/2010	1	40.88
21/10/2010	51	107.68
28/10/2010	58	98.32
04/11/2010	65	109.9
17/11/2010	78	109.9
10/12/2010	100	118.56

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

De la Tabla N° 6.26 se puede apreciar que la DBO₅ en el Tanque de Almacenamiento y regulación se mantiene con ciertas variaciones propias de una planta de tratamiento de aguas residuales.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la DBO₅ en el afluente del D.H.S. (Ver gráfico N° 6.27).

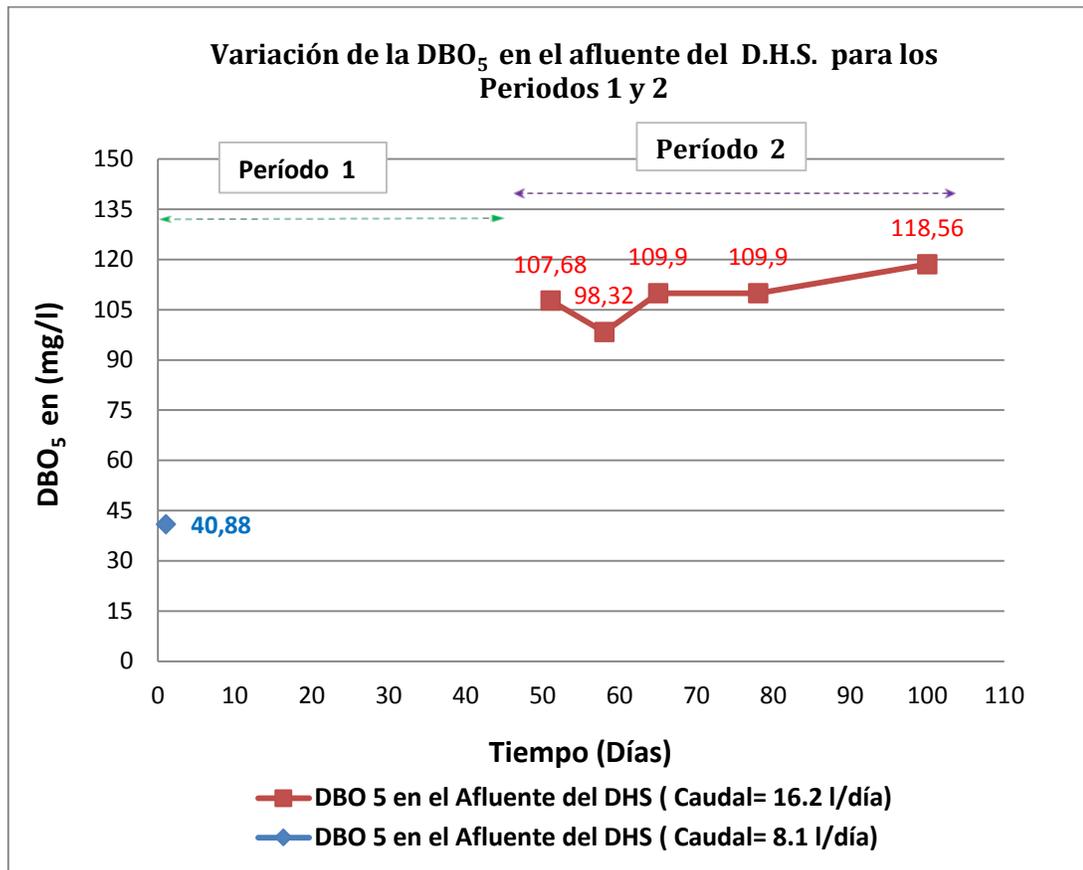


Gráfico N° 6.27. Variación de la DBO₅ en el Afluente del Reactor D.H.S. de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver que los valores de la DBO₅ en el afluente del DHS han tenido una ligera variación pero estos se mantienen en sus valores normales que un efluente de U.A.S.B. para el periodo 2 con respecto a los valores de DBO₅. Por otro lado

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

para el periodo 1 se obtuvo un valor 40.88 mg/l siendo un valor muy bajo para el efluente del reactor U.A.S.B.

**VI.2.1.2. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S.
01**

Los resultados obtenidos en el Efluente del reactor D.H.S. 01 son los indicados en la tabla N° 6.27.

**Tabla N° 6.27. Valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del
Efluente del D.H.S. 01**

FECHAS	Días	RESULTADOS
		EFLUENTE D.H.S 1 (mg/l)
01/09/2010	1	20.47
21/10/2010	51	4.21
28/10/2010	58	4.16
04/11/2010	65	2.7
17/11/2010	78	7.92
10/12/2010	100	20.97

De la Tabla N° 6.27, se puede apreciar que la DBO5 del efluente del D.H.S. 01 ha retenido una gran remoción de la carga orgánica, disminuyendo aproximadamente en un 90 % para el periodo 2. Así mismo cabe destacar que la DBO5 de la muestra fue variable, ya que el tanque de alimentación del afluente presentó en ocasiones mayor DBO5.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la DBO5 en el efluente del reactor D.H.S. 01 (Ver gráfico N° 6.28).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

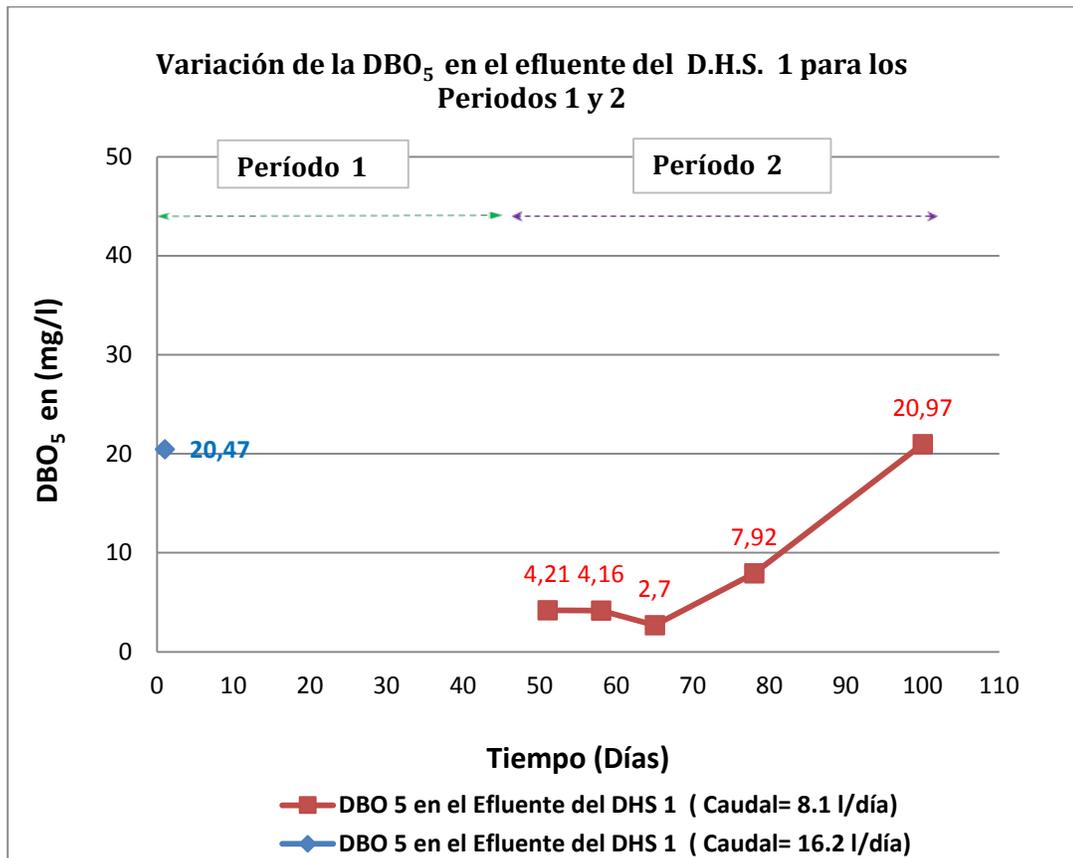


Gráfico Nº 6.28. Variación de la DBO₅ en el Efluente del Reactor D.H.S. 01 Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Se puede ver que los valores de la DBO₅ en el efluente del reactor DHS 01 han tenido buenos resultados en remoción de carga orgánica llegando a obtener el valor más bajo de DBO₅ de 2,70 mg/l para el periodo 2 y para el periodo 1 se obtuvo un valor de 20.47 mg/l debido a que la biomasa de las esponjas consumió considerablemente la materia biodegradable este valor es aceptable a nivel de remoción de contaminantes.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**VI.2.1.3. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S.
2**

Los resultados obtenidos en el Efluente del reactor D.H.S. 02 son lo indicados en la tabla N° 6.28.

**Tabla N° 6.28. Valores promedio de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del
Efluente del D.H.S. 02**

FECHAS	Días	RESULTADOS
		AFLUENTE D.H.S 2 (mg/l)
01/09/2010	1	24.11
21/10/2010	51	2.16
28/10/2010	58	6.59
04/11/2010	65	1.14
17/11/2010	78	2.30
10/12/2010	100	1.12

Se puede apreciar que la Demanda Química de Oxígeno en el reactor D.H.S. 02 ha tenido una gran remoción de la carga orgánica como se muestra en la tabla N° 6.28.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la DBO5 en el efluente del reactor D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.29).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

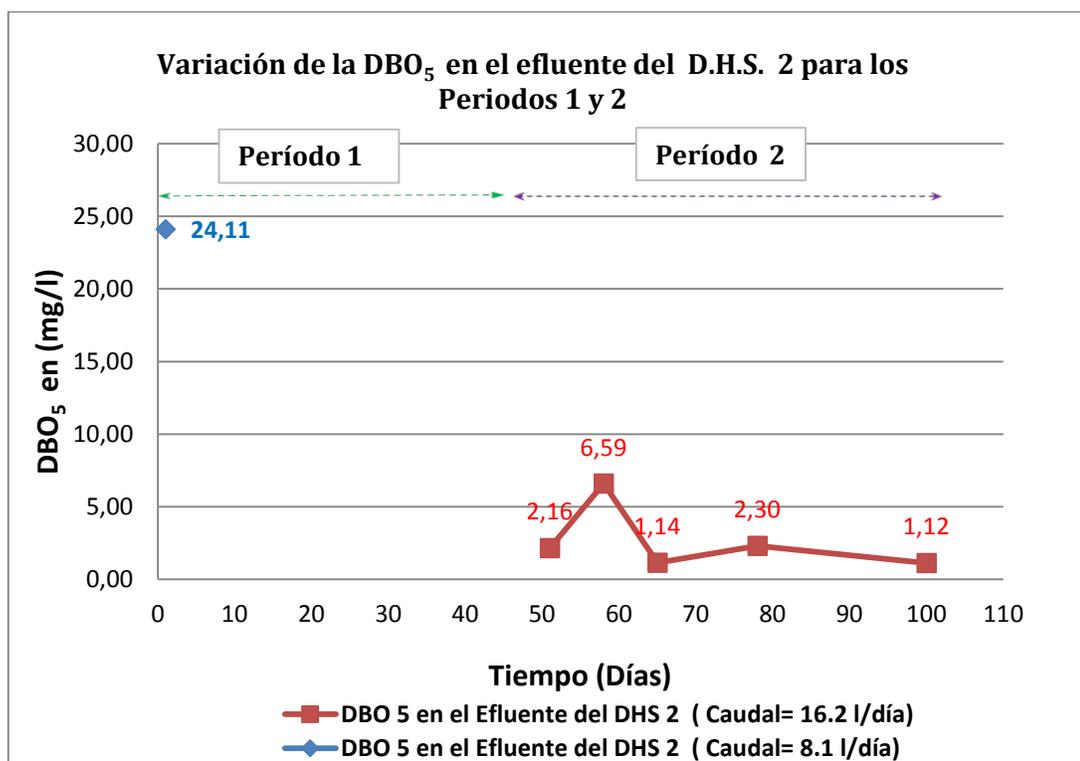


Gráfico Nº 6.29. Variación de la DBO5 en el Efluente del Reactor D.H.S. 02 Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2

Aquí también se puede ver que los valores de la DBO5 en el efluente del reactor D.H.S. 02 han tenido buenos resultados en remoción de carga orgánica llegando a obtener el valor de 1,135 mg/l de DBO5 siendo este resultado muy favorable en el post tratamiento del efluente del U.A.S.B. a nivel de DBO5.

VI.2.2. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno se midió desde el 22 de Julio del 2010 hasta el 22 de Diciembre del 2010. Los valores promedio de la DQO se muestran a continuación:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

VI.2.2.1. Resultados de la caracterización en el afluente del Reactor D.H.S.

Los resultados obtenidos en el Afluente del D.H.S. son los indicados en la tabla N° 6.29.

Tabla N° 6.29. Valores promedio de DQO en el Afluente del Reactor D.H.S.

PARAMETRO	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (MG/L)					
AFLUENTE	D.H.S.			D.H.S.		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	22/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 22/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	126,00	341,00	233,43	141,00	398,00	292,67

De la tabla N° 6.29 se puede apreciar que la Demanda Química de Oxígeno en el Tanque de Almacenamiento ha tenido un valor promedio bajo en invierno con respecto al valor promedio en primavera debido a que el tanque contenía gran cantidad de materia inorgánica proveniente del U.A.S.B., después se mantuvo constante para luego llegar a tener una DQO mínima igual a 126 mg/l en invierno y 141 mg/l.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la DQO en el afluente del D.H.S (Ver gráfico N° 6.30).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

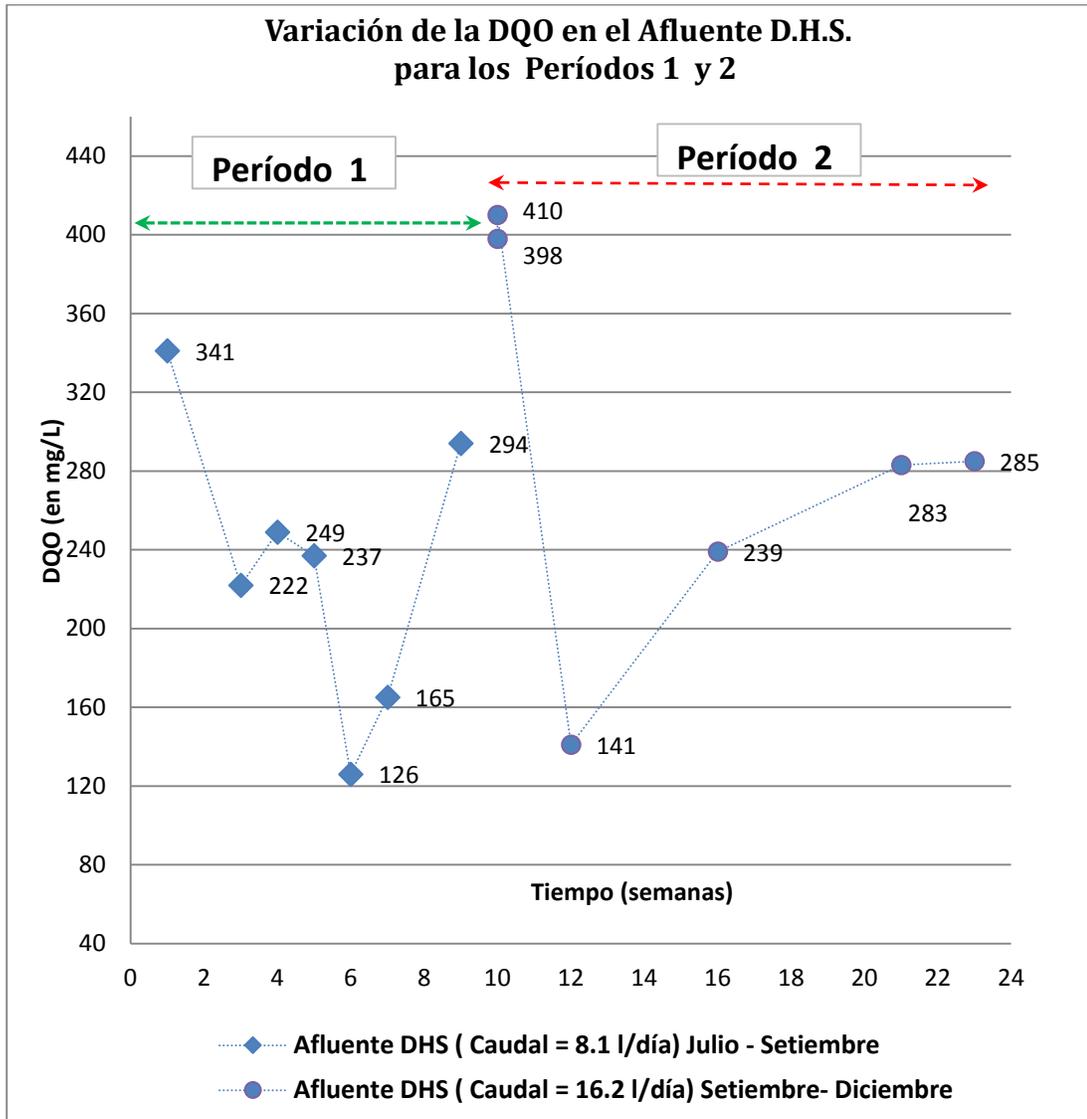


Gráfico Nº 6.30. Variación de la DQO en el Afluente de DHS de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.

Se puede ver que los valores de la DQO en el afluente han tenido variaciones en el periodo 1 con respecto al periodo 2 debido a los factores climatológicos.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**VI.2.2.2. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S.
01**

Los resultados obtenidos en el Efluente D.H.S. 01 son lo indicados en la tabla N° 6.30.

**Tabla N° 6.30. Valores promedio de la Demanda Química de Oxígeno del
Efluente del reactor D.H.S. 01**

PARAMETRO	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (MG/L)					
EFLUENTE	D.H.S. 01			D.H.S. 01		
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	22/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 22/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	55,00	215,00	95,57	25,00	201,00	105,33

De la Tabla N° 6.30, se puede apreciar que la remoción de la Demanda Química de Oxígeno en el reactor D.H.S. 01 es menor en primavera con respecto a la DQO del invierno.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la DQO en el efluente del reactor D.H.S. 01 (Ver gráfico N° 6.31).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

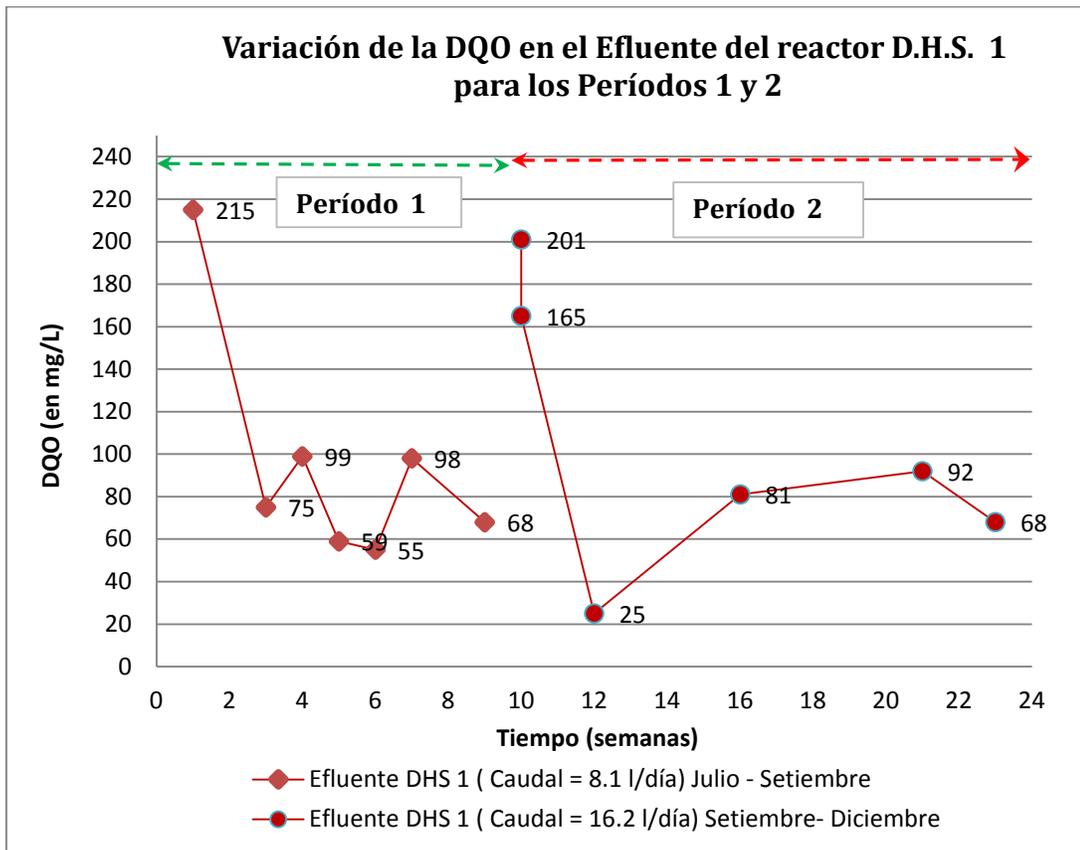


Gráfico N° 6.31. Variación de la DQO en el Efluente del reactor DHS de Julio a Setiembre. Caudal = 8.1 l/día (41 gotas) Período 1 y de Setiembre a Diciembre. Caudal = 16.2 l/día (82 gotas/min) Período 2.

Se puede ver que los valores de la DQO en el efluente del reactor D.H.S. 01 han tenido una remoción de contaminantes como se puede visualizar en el gráfico N° 6.37 los valores de 37 mg/l de DQO en el periodo 1 y de 45 mg/l de DQO en el periodo 2.

VI.2.2.3. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S.

02

Los resultados obtenidos en el Efluente D.H.S. 02 son lo indicados en la tabla N° 6.31.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**Tabla N° 6.31. Valores promedio de la Demanda Química de Oxígeno del
Efluente del reactor D.H.S. 02**

PARAMETRO	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (MG/L)					
	EFLUENTE	D.H.S. 02			D.H.S. 02	
CAUDAL	8.1 l/día			16.2 l/día		
EPOCA	INVIERNO			PRIMAVERA		
FECHA	22/07/2011 - 22/09/2011			23/09/2011 - 22/12/2011		
RANGO	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
RESULTADOS	45,00	248,00	89,86	37,00	229,00	102,50

De la tabla N° 6.31 se puede apreciar que la Demanda Química de Oxígeno ha tenido una disminución significativa con relación a la DQO del afluente.

A continuación se muestra la variación gráficamente de la DQO en el efluente del reactor D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.32).

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

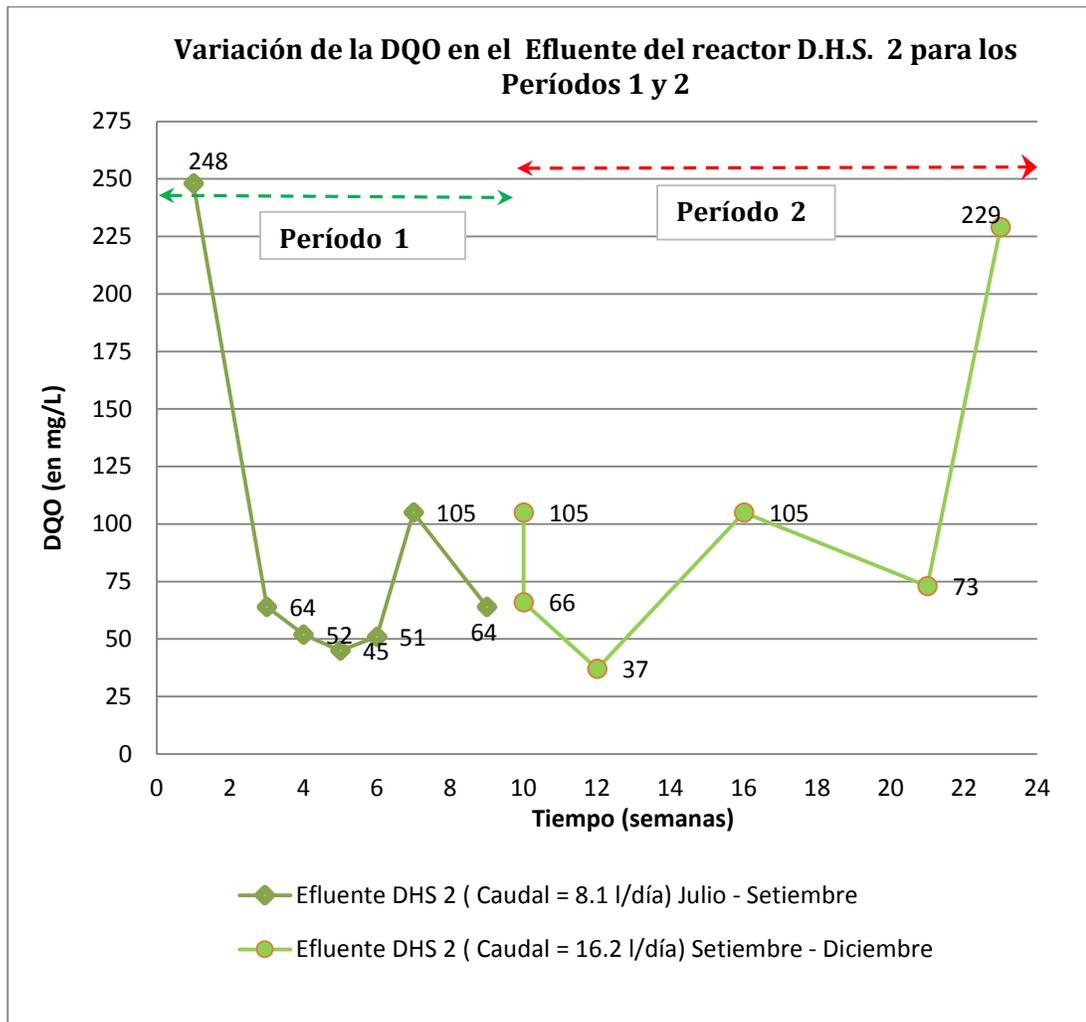


Gráfico N° 6.32. Variación de la DQO en el Efluente del reactor DHS 02 de Julio a Setiembre (Caudal = 8.1 l/día) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

Se puede ver que los valores de la DQO en el efluente del reactor D.H.S. 02 han tenido una remoción de contaminantes como se puede visualizar en el gráfico N° 6.32 los valores más bajos de 55 mg/l de DQO en el periodo 1 y de 25 mg/l de DQO en el periodo 2.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Además, también podemos observar las comparaciones de los valores de la DQO obtenidos.

- Variación de la DQO en el Afluente y Efluente del Reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.33)
- Evolución de la Eficiencia de remoción de la DQO en los reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02 (Ver gráfica N° 6.34).

Como se muestra a continuación:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

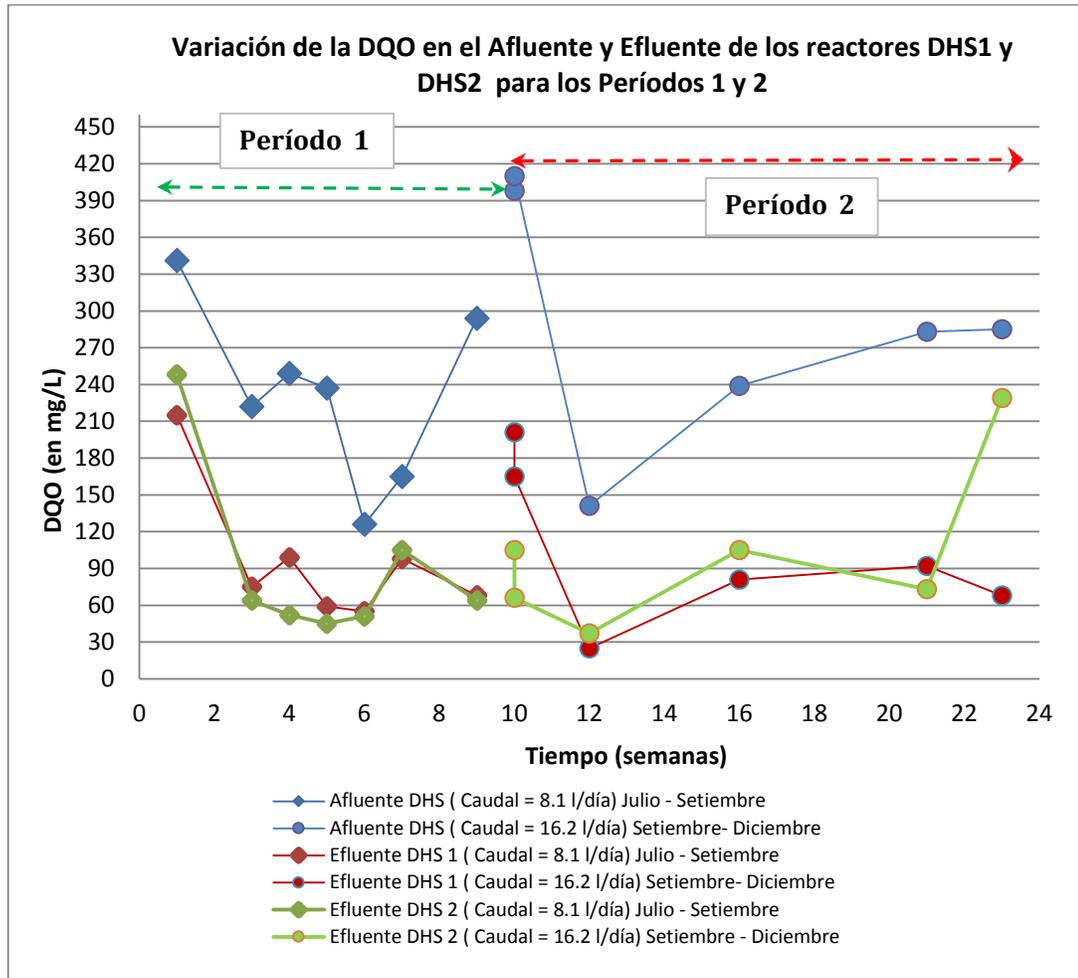


Gráfico N° 6.33. Variación de la DQO en el Efluente del reactor DHS 2 de Julio a Setiembre. (Caudal = 8.1 l/día) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

Aquí podemos visualizar la variación de la DQO de sus tres componentes: Tanque de almacenamiento (Afluente) y los Reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02 (Efluente). Se puede notar que los valores del afluente siempre están por encima de los valores del efluente, concluyendo a partir de esto que el sistema ha tenido un buen comportamiento a lo largo del estudio.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

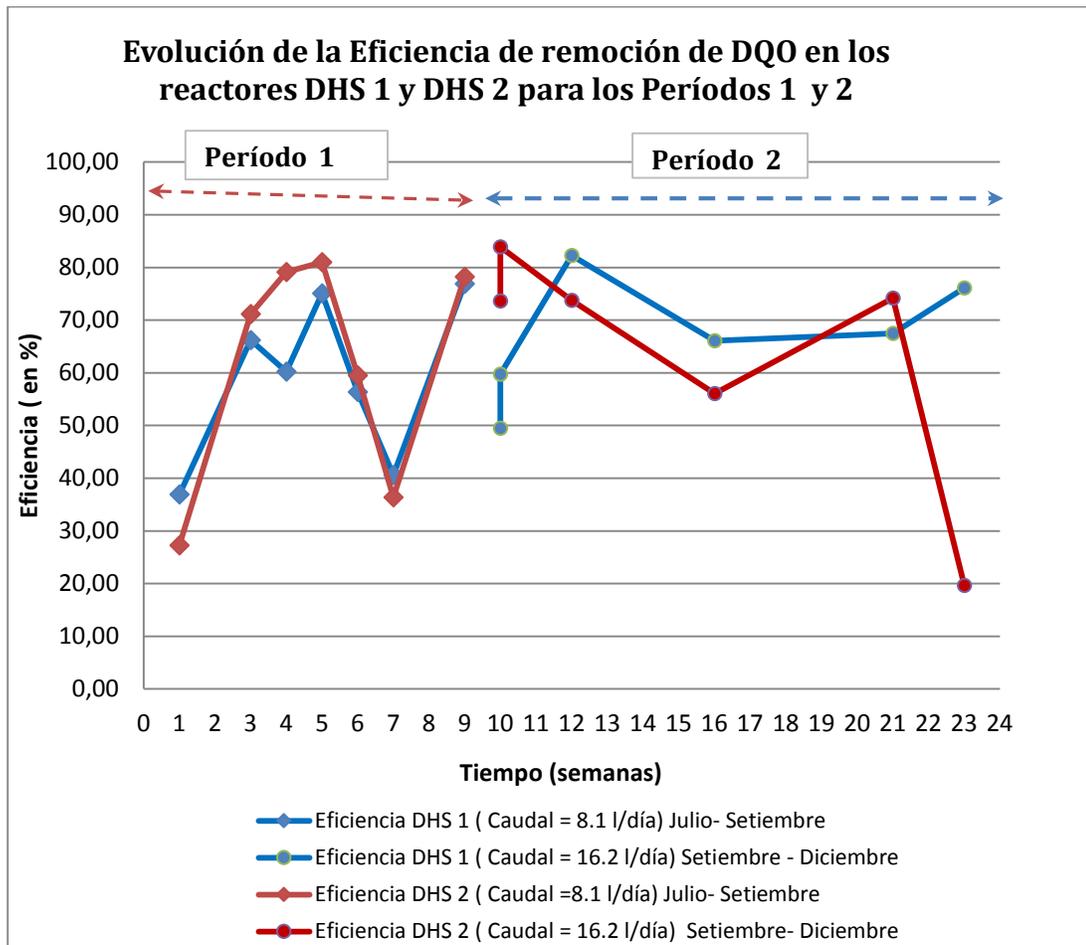


Gráfico N° 6.34. Evolución de la eficiencia de la DQO de los reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Julio a Setiembre. (Caudal = 8.1 l/día) Período 1 y de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

Aquí podemos visualizar la eficiencia de remoción de la DQO de los reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02. Se puede notar que los valores de eficiencia han alcanzado valores máximos por encima del 80 % para el período 1 y valores cercanos a 90 % en el período 2. Esto nos permite concluir que el sistema ha tenido un buen comportamiento a lo largo del estudio.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

VI.2.3. DEMANDA QUIMICA OXIGENO FILTRADA

La Demanda Química de Oxígeno Filtrada se midió en tres fechas el 23/09, 24/09, 06/10 del 2010 durante el Periodo 2. Los valores de la DQO Filtrada se muestran a continuación:

VI.2.3.1. Resultados de la caracterización en el afluente del D.H.S.

Los resultados obtenidos en el Efluente del reactor D.H.S. 01 son los indicados en la tabla N° 6.32.

Tabla N° 6.32. Valores de la DQO Filtrada del Afluente del D.H.S.

DQO FILTRADA (MG/L)		
FECHAS	Días	RESULTADOS
		AFLUENTE D.H.S
23/09/2010	1	170
24/09/2010	2	137
6/10/2010	14	93

De la tabla N° 6.32, se puede apreciar que la DQO Filtrada en el afluente del D.H.S. ha disminuido con los días, esto es debido al lavado del tanque almacenamiento del afluente del D.H.S.

VI.2.3.2. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S.

1

Los resultados obtenidos en el Efluente del reactor D.H.S. 01 son los indicados en la tabla N° 6.33.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Tabla N° 6.33. Valores de la DQO Filtrada del Efluente del reactor D.H.S. 01

DQO FILTRADA (MG/L)		
FECHAS	Días	RESULTADOS
		REACTOR DHS 01
23/09/2010	1	96.00
24/09/2010	2	65,00
6/10/2010	14	22,00

De la tabla N° 6.33, se puede apreciar que la DQO Filtrada en el efluente del reactor D.H.S. 01 ha tenido una gran remoción de DQO en el día 14 con respecto al día 1 debido al buen funcionamiento del reactor.

**VI.2.3.3. Resultados de la caracterización en el efluente del Reactor D.H.S.
02**

Los resultados obtenidos en el Efluente del reactor D.H.S.02 son los indicados en la tabla N° 6.34.

Tabla N° 6.34. Valores de la DQO Filtrada del Efluente del reactor D.H.S. 02

DQO FILTRADA (MG/L)		
FECHAS	Días	RESULTADOS
		REACTOR DHS 02
23/09/2010	1	87
24/09/2010	2	80
6/10/2010	14	32

De la tabla N° 6.34, se puede apreciar que la DQO Filtrada en el efluente del reactor D.H.S. 02 ha tenido una gran remoción de la carga de la DQO en el día 14, disminuyendo aproximadamente en un 76.34 %.

Además, también podemos observar las comparaciones de los valores de la DQO Filtrada obtenidos en relación a:

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- Variación de la DQO Filtrada en el Afluente y Efluente del Reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.35. y 6.36)
- Evolución de la Eficiencia de remoción de la DQO Filtrada en los reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02 (Ver gráfico N° 6.37)

Como se muestra a continuación:

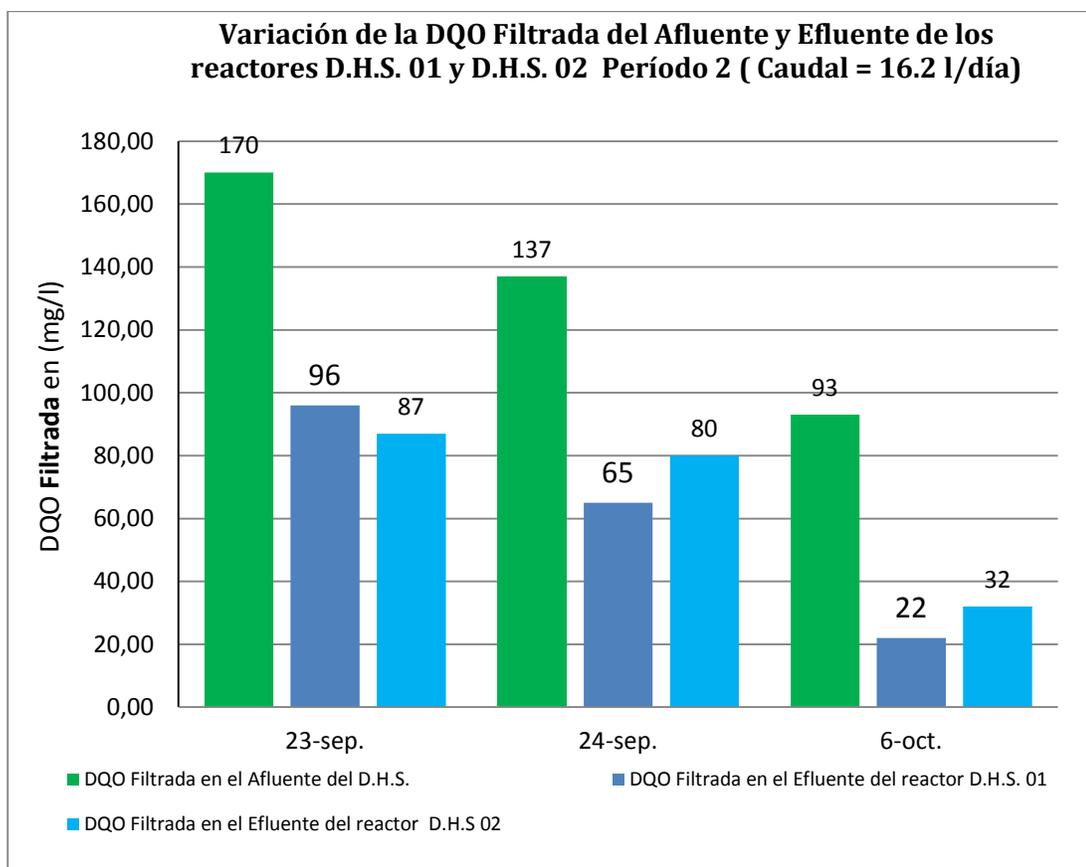


Gráfico N° 6.35. Variación de la DQO Filtrada en el Afluente y Efluente del reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

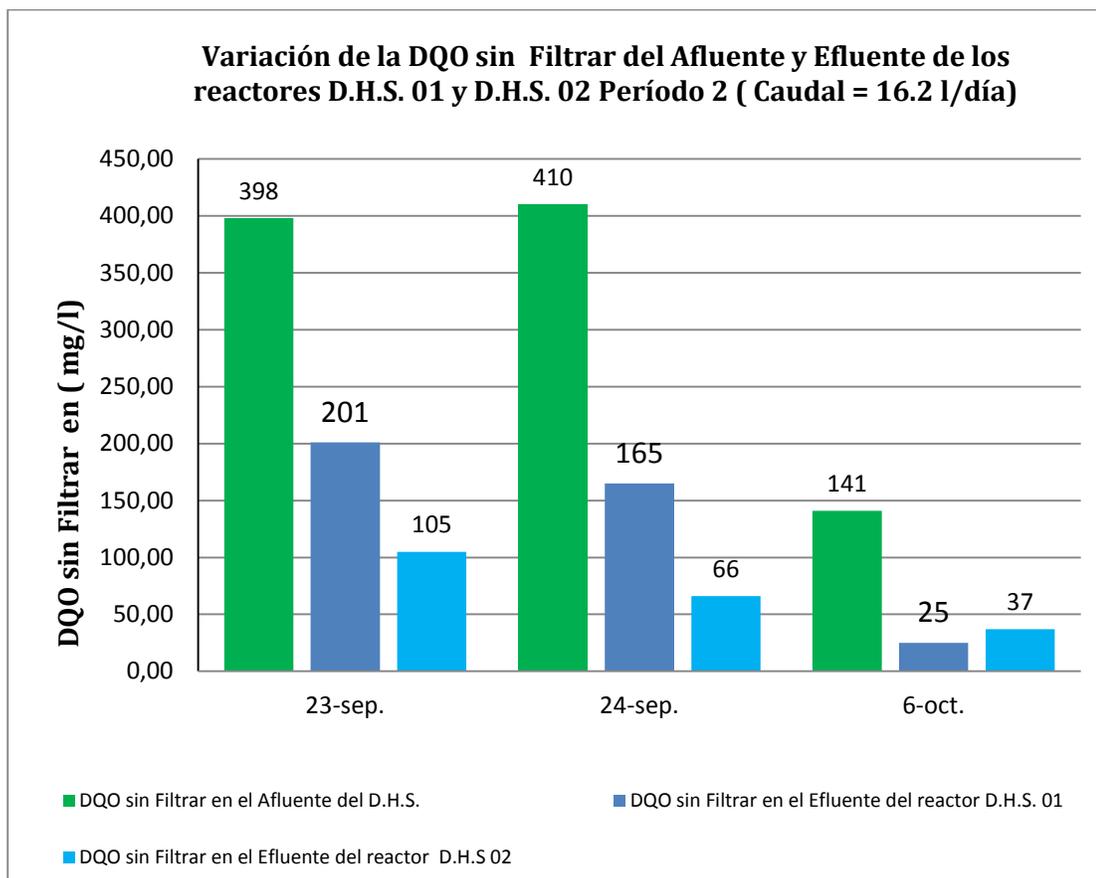


Gráfico N° 6.36. Variación de la DQO Filtrada en el Afluente y Efluente del reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

En los gráficos N° 6.35 y 6.36 podemos visualizar la variación de la DQO filtrada en sus tres componentes Tanque de almacenamiento (Afluente) y los Reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02 (Efluente). Se puede notar que los valores del afluente siempre están por encima de los valores del efluente para los casos de DQO filtrada y sin filtrar, esto nos indica que el sistema ha tenido un buen comportamiento a lo largo del estudio y los valores de DQO filtrada y sin filtrar obtenidos en los efluentes de los reactores son muy óptimos en esta investigación.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

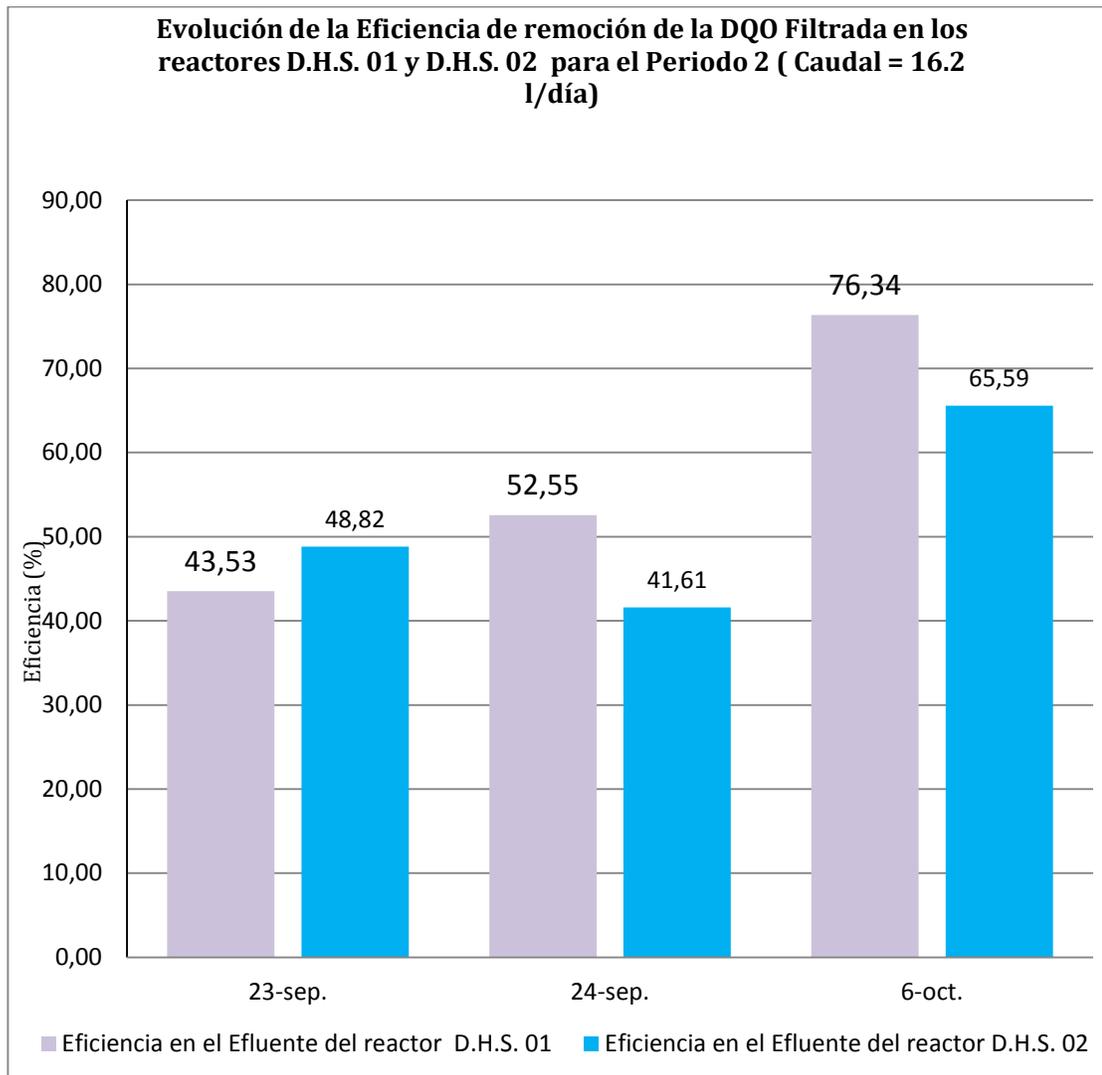


Gráfico Nº 6.37. Variación de la Eficiencia de la DQO Filtrada en el Afluente y Efluente del reactor D.H.S. 01 y D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

En el gráfico Nº 6.37 podemos visualizar la eficiencia de remoción de la DQO Filtrada de los reactores D.H.S. 01 y D.H.S. 02. Se puede notar que los valores de eficiencia se han incrementado con el tiempo alcanzando valores por encima del 70 %. Esto nos permite concluir que el sistema ha tenido un adecuado comportamiento en el estudio .

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

VI.2.4. DEMANDA QUIMICA OXIGENO FILTRADA Y DQO SIN FILTRAR

La Demanda Química de Oxígeno Filtrada y Filtrar se midió en tres fechas el 23/09, 24/09, 06/10 del 2010 durante el Periodo 2. Los valores obtenidos se muestran a continuación en los Gráficos N° 6.38, 6.39 y 6.40:

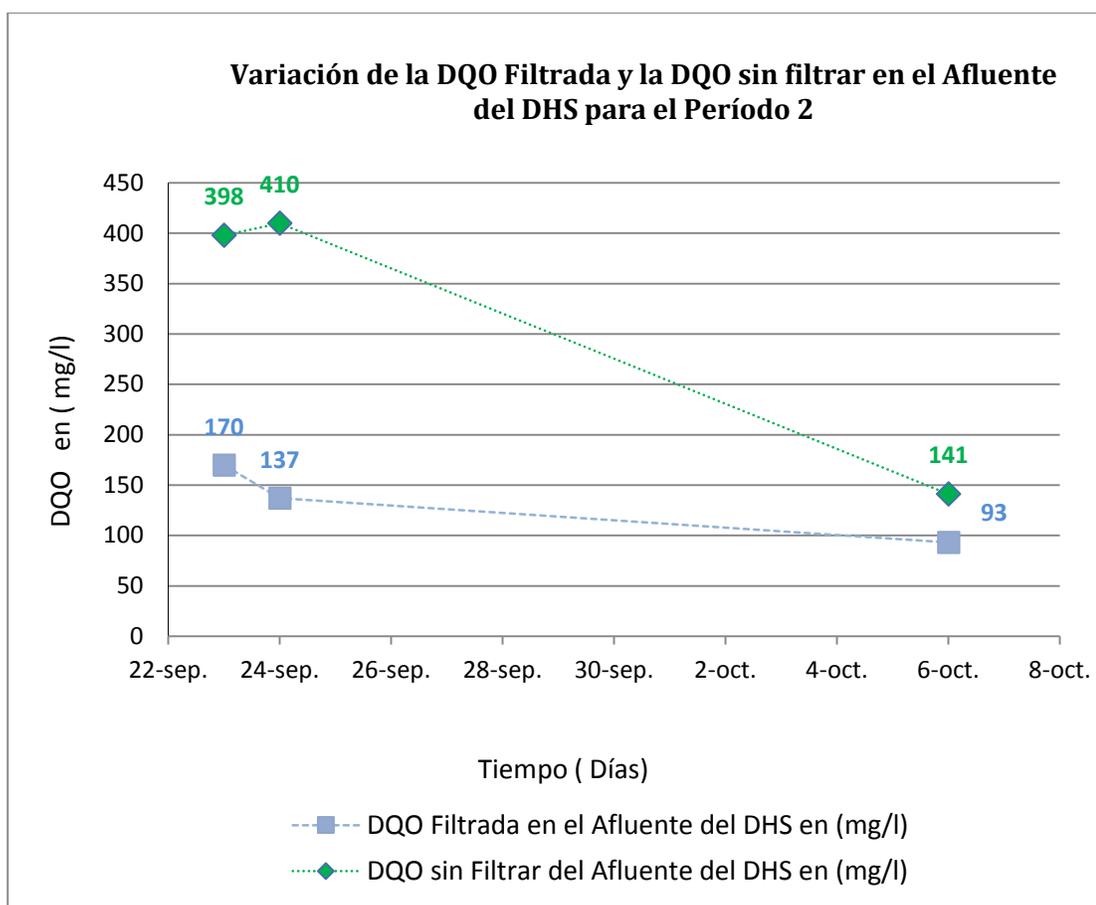


Gráfico N° 6.38. Variación de la DQO Filtrada y sin Filtrar en el Afluyente del reactor D.H.S. de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

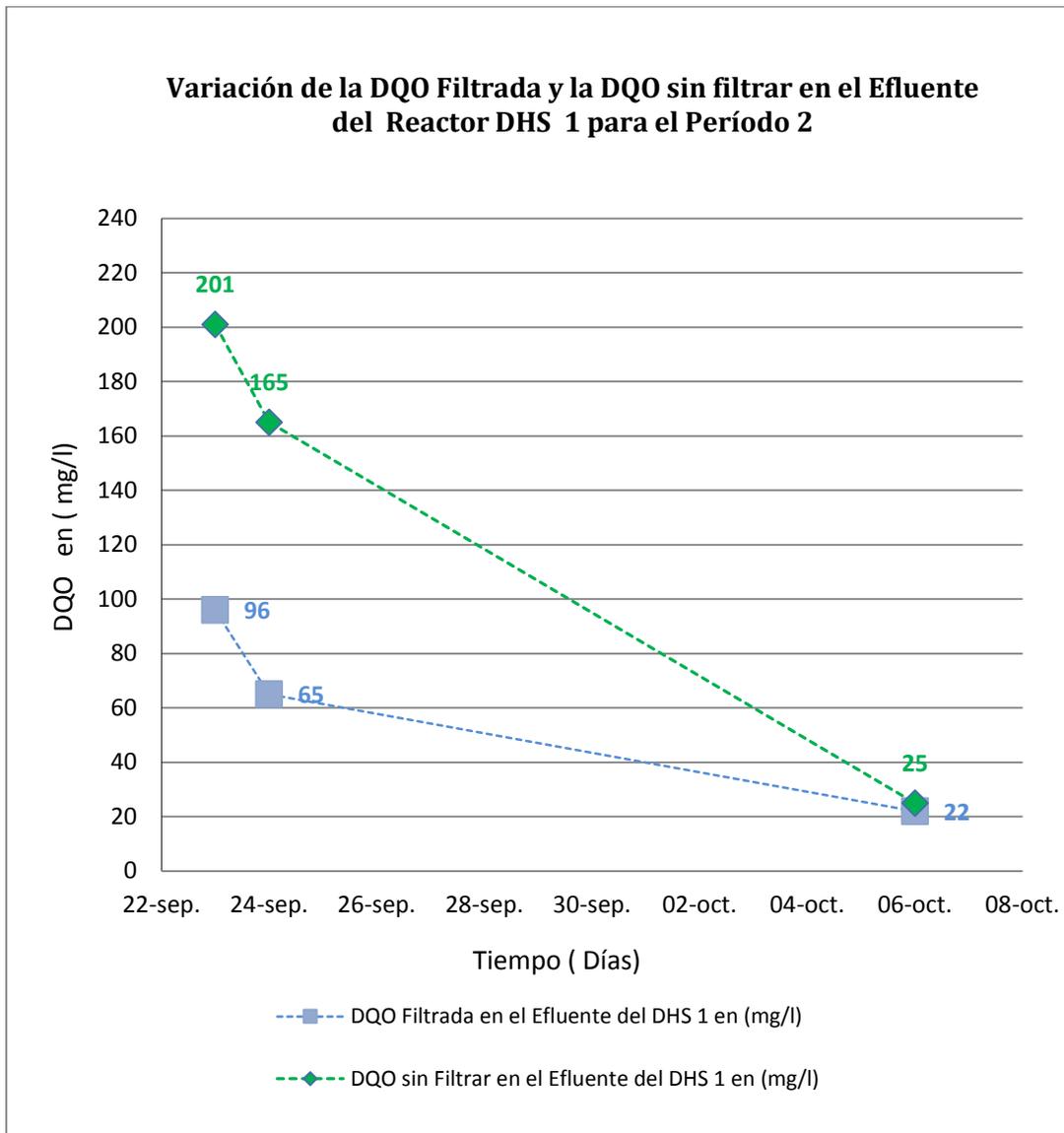


Gráfico N° 6.39. Variación de la DQO Filtrada y sin Filtrar en el Efluente del reactor D.H.S. 01 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

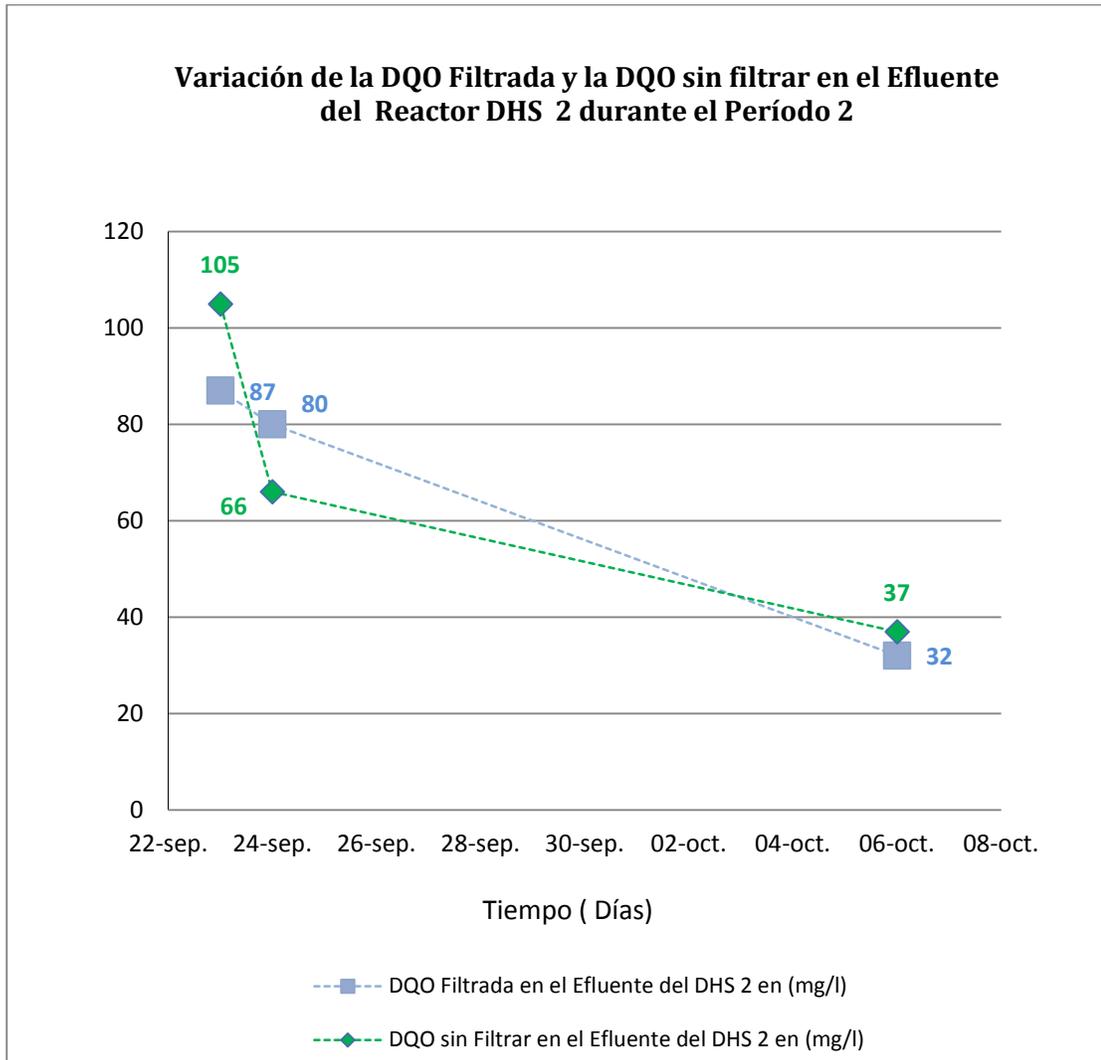


Gráfico N° 6.40. Variación de la DQO Filtrada y sin Filtrar en el Efluente del reactor D.H.S. 02 de Setiembre a Diciembre (Caudal = 16.2 l/día) Período 2.

En los gráficos N° 6.38, 6.39 y 6.40, se puede notar que los valores de la DQO Filtrada siempre están por debajo de la DQO sin Filtrar, a excepción de la Gráficas N° 646 en la que los valores del 24 de setiembre se encuentran contrarios a lo indicado, esto es debido a mala disposición del papel filtro en el momento de filtrar la muestra. Estos valores de DQO filtrada nos indica la cantidad real de materia a oxidar que existe en la muestra de afluente y efluente del reactor D.H.S. 01 y 02.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

VI.3. ANALISIS MICROBIOLÓGICOS

VI.3.1. COLIFORMES TOTALES Y TERMOTOLERANTES

VI.3.1.1. Coliformes Totales

Se obtuvo un rendimiento máximo de 99.00% para el reactor D.H.S. 01 y de 96.83% para el caso del reactor D.H.S. 02, siendo estos valores muy óptimos como post-tratamiento del U.A.S.B. a nivel de Coliformes Totales (Ver tabla N° 6.35)

**Tabla N° 6.35. Rendimiento del reactor D.H.S. 01 y rendimiento del reactor
D.H.S. 02 – Coliformes Totales**

Día - Hora	Coliformes Totales (NMP/100ml)			Rendimientos	
	Afluente	Efluente 1	Efluente 2	D.H.S. 1	D.H.S. 2
06/08/10 - 14:30	9.200.000	160.000	92.000	98,26	99,00
13/08/10 - 15:00	92.000.000	920.000	160.000	99,00	99,83
01/09/10 - 11:30	16.000.000	540.000	540.000	96,63	96,63
06/10/10 - 13:00	1.600.000	24.000	160.000	98,50	90,00
18/11/10 - 12:00	9.200.000	1.600.000	5.400.000	82,61	41,30

VI.3.1.2. Coliformes Termotolerantes

Se obtuvo un rendimiento máximo de 99.75 % para el reactor D.H.S. 01 y de 99.96 % para el caso del reactor D.H.S. 02, siendo estos valores muy óptimos como post-tratamiento del U.A.S.B. a nivel de Coliformes Termotolerantes (Ver Tabla N° 6.36)

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**Tabla N° 6.36. Rendimiento del reactor D.H.S. 01 y Rendimiento del reactor
D.H.S. 02 – Coliformes Termotolerantes**

Día - Hora	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)			Rendimientos	
	Afluente	Efluente 1	Efluente 2	D.H.S. 1	D.H.S. 2
06/08/10 - 14:30	920.000	92.000	24.000	90,00	97,39
13/08/10 - 15:00	9.200.000	35.000	28.000	99,62	99,70
01/09/10 - 11:30	9.200.000	35.000	54.000	99,62	99,41
06/10/10 - 13:00	920.000	2.300	28.000	99,75	96,96
18/11/10 - 12:00	920.000	920.000	920.000	0,00	0,00

En las siguientes graficas podemos visualizar la evolución de la eficiencia de remoción de los Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales encontradas de los reactores del reactor D.H.S. 1 y del reactor D.H.S. 2. (Ver gráfico N° 6.41 y 6.42):

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

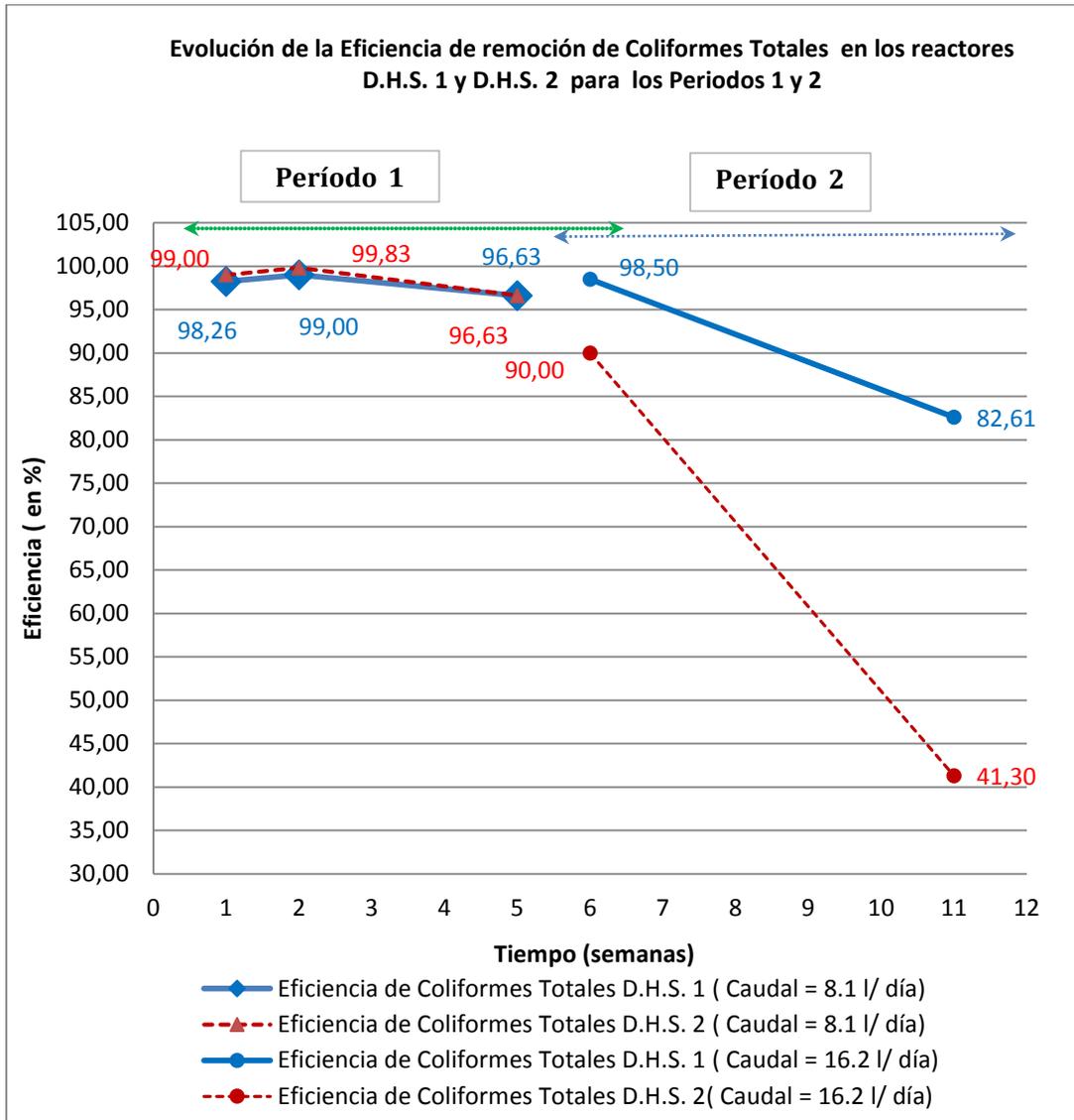
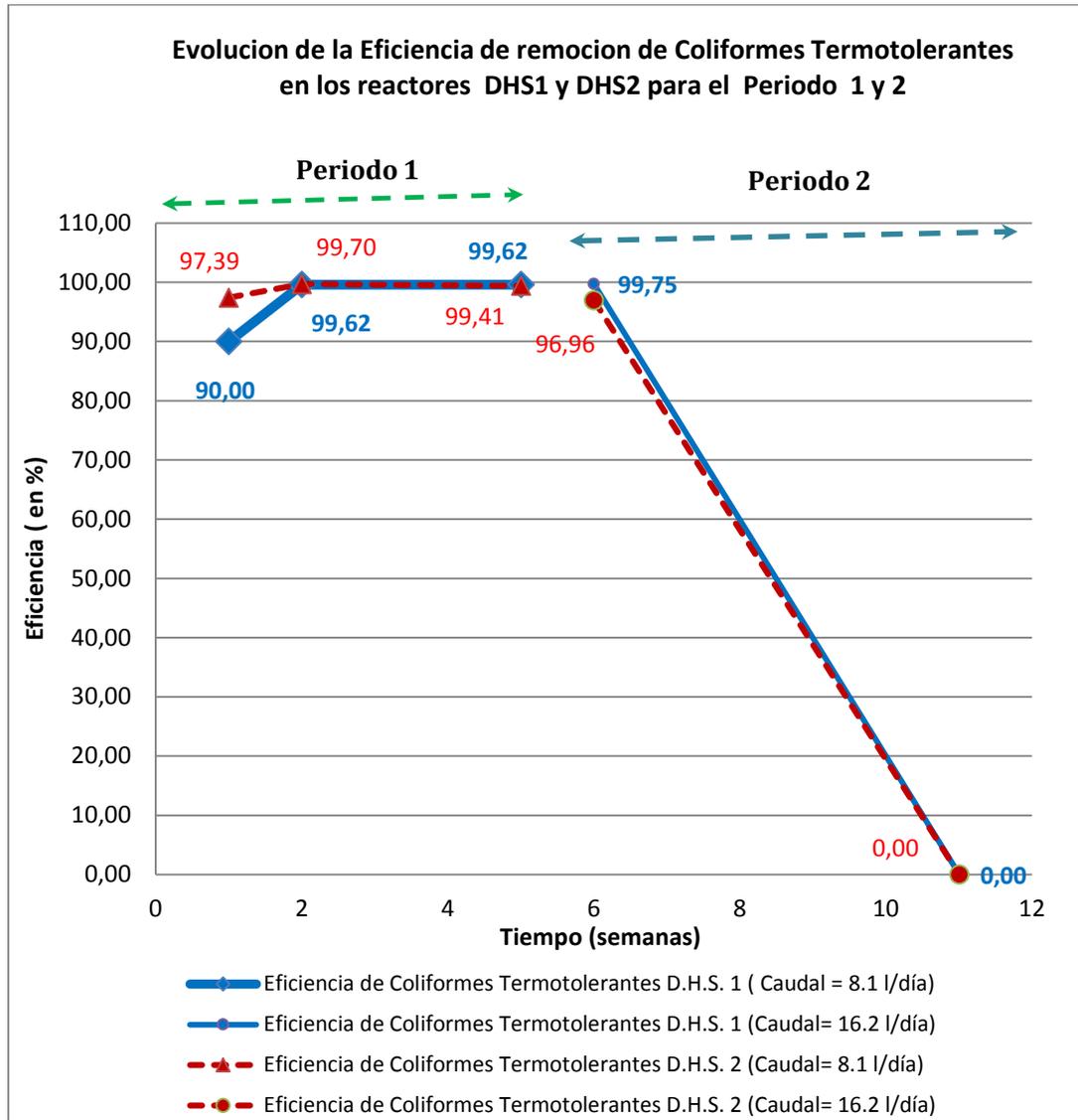


Gráfico N° 6.41. Evolución de la Eficiencia de Remoción de Coliformes Totales para los Periodos 1 y 2.

En el gráfico N° 6.41 se puede ver que hay una gran eficiencia de remoción de coliformes totales para el periodo 1 mientras que para el periodo 2 la eficiencia disminuye.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO



En el gráfico N° 6.42 se puede ver que hay una gran eficiencia de remoción de termotolerantes para el periodo 1 mientras que para el periodo 2 la eficiencia decae considerablemente hasta tener una eficiencia nula esto se debió a problemas de mantenimiento de los reactores D.H.S.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

Tabla Nº 6.37. Tabla resumen de valores promedio de los parámetros monitoreados.

PARAMETRO	TIPO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	Q = 8.1 L/día			DESVIACION STANDAR	TAMAÑO DE LA MUESTRA	Q = 16.2 L/día			DESVIACION ESTANDAR
			VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	VALOR PROMEDIO			VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	VALOR PROMEDIO	
TEMPERATURA	AFLUENTE	55	0.00	22.00	18.97	1.66	123	1.66	26.6	21.72	2.49
	DHS 01	55	0.00	22.3	18.23	1.20	123	1.20	25.6	21.45	2.64
	DHS 02	55	0.00	22.4	18.33	1.36	123	1.36	25.9	21.43	2.38
PH	AFLUENTE	55	7.03	7.84	7.40	0.19	123	5.73	8.07	7.39	0.36
	DHS 01	55	7.51	8.35	8.06	0.14	123	6.97	8.17	7.60	0.34
	DHS 02	55	7.42	8.33	7.95	0.19	123	6.62	8.23	7.64	0.32
TURBIEDAD	AFLUENTE	55	76	240	130.33	26.14	123	75	375	151.98	57.17
	DHS 01	55	15	157	51.97	35.99	123	17	148	46.66	24.27
	DHS 02	55	10	236	51.44	42.81	123	18	137	43.49	31.29
OXIGENO DISUELTO	AFLUENTE	13	0.02	3.41	1.04	1.01	54	0.2	2.35	0.70	0.56
	DHS 01	13	5.92	7.17	6.68	0.80	54	4.64	6.95	5.34	0.48
	DHS 02	13	5.01	7.16	6.23	1.34	54	4.45	7.58	5.38	0.61
SOLIDOS TOTALES	AFLUENTE	2	721	870	795.50	74.50	5	1172	1960	1,593.60	267.79
	DHS 01	2	699	872	785.50	86.50	5	596	896	770.40	97.08
	DHS 02	2	709	804	756.50	47.50	5	456	1736	860.80	450.33
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	AFLUENTE		ND	ND	ND		5	340	908	591.20	191.37
	DHS 01		ND	ND	ND		5	52	428	168.00	133.10
	DHS 02		ND	ND	ND		5	4	164	74.40	60.17
SOLIDOS VOLATILES TOTALES	AFLUENTE	2	184	254	219.00	35.00	5	276	1520	924.00	414.52
	DHS 01	2	172	210	191.00	19.00	5	20	248	178.40	82.23
	DHS 02	2	148	209	178.50	30.50	5	72	616	250.40	193.82
SOLIDOS FIJOS TOTALES	AFLUENTE	2	536	616	576.00	40.00	5	332	1460	669.60	407.06
	DHS 01	2	527	662	594.50	67.50	5	396	876	592.00	150.49
	DHS 02	2	561	595	578.00	17.00	5	220	612	452.80	157.30
DBO	AFLUENTE	1	40.88	40.88	40.88	0.00	5	98.32	118.56	108.87	26.02
	DHS 01	1	20.47	20.47	20.47	0.00	5	2.7	20.97	7.99	7.69
	DHS 02	1	24.11	24.11	24.11	0.00	5	1.12	6.59	2.66	8.20
DQO	AFLUENTE	6	126	341	223.33	67.79	7	141	410	292.86	85.27
	DHS 01	6	55	215	100.17	54.10	7	25	201	100.00	56.72
	DHS 02	6	45	248	94.17	71.59	7	37	229	97.00	58.28
DQO (FILTRADA)	AFLUENTE		ND	ND	ND		3	93	170	133.33	31.54
	DHS 01		ND	ND	ND		3	22	96	61.00	30.34
	DHS 02		ND	ND	ND		3	32	87	66.33	24.44
COLIFORMES TOTALES	AFLUENTE	3	9200000	92000000	39066667	37532327	2	1600000	9200000	5400000	3800000
	DHS 01	3	160	920	540	310	2	24	1600000	800012	799988
	DHS 02	3	92	540	264	197	2	160	5400000	2700080	2699920
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	AFLUENTE	3	920	9200000	6133640	4336488	2	920	920	920	0
	DHS 01	3	35	92	54	27	2	2	920	461	459
	DHS 02	3	24	54	35	13	2	28	920	474	446

Leyenda:

ND: No se determinó.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

**Tabla N° 6.38. Tabla resumen de valores promedio de los parámetros
monitoreados.**

PARAMETRO	TIPO	Q = 8.1 L/día			Q = 16.2 L/día		
		VALOR MINIMO (%)	VALOR MAXIMO (%)	RENDIMIENTO (PROMEDIO) (%)	VALOR MINIMO (%)	VALOR MAXIMO (%)	RENDIMIENTO (PROMEDIO) (%)
TURBIEDAD	DHS 01	17.14	88.55	61.23	27.05	93.13	67.90
	DHS 02	18.98	87.61	66.85	18.93	91.27	69.83
SOLIDOS TOTALES	DHS 01	3.05	3.05	3.05	44.88	60.00	51.06
	DHS 02	1.66	7.59	4.63	11.43	62.90	47.97
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	DHS 01	ND	ND		32.70	91.50	69.36
	DHS 02	ND	ND		68.24	99.37	85.86
SOLIDOS VOLATILES TOTALES	DHS 01	6.52	17.32	11.92	70.79	92.75	81.26
	DHS 02	17.72	19.57	18.64	59.47	93.88	71.97
SOLIDOS FIJOS TOTALES	DHS 01	1.68	1.68	1.68	11.95	40.00	25.97
	DHS 02	3.41	3.41	3.41	11.95	63.01	33.31
DBO	DHS 01	49.93	49.93	49.93	82.31	97.54	92.10
	DHS 02	41.02	41.02	41.02	93.30	99.06	97.31
DQO	DHS 01	36.95	75.11	55.91	49.50	82.27	68.30
	DHS 02	27.27	81.01	59.08	19.65	83.90	65.63
DQO (FILTRADA)	DHS 01	ND	ND		43.53	76.34	57.48
	DHS 02	ND	ND		41.61	65.59	52.01
COLIFORMES TOTALES	DHS 01	96.63	99.00	97.96	82.61	98.50	90.56
	DHS 02	96.63	99.83	98.49	41.30	90.00	65.65
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	DHS 01	90.00	99.62	96.41	99.75	99.75	99.75
	DHS 02	97.39	99.70	98.83	96.96	96.96	96.96

Leyenda:

ND: No se determinó.

CAPITULO VII: DISCUSION

VII.1. CON RESPECTO A LA ACTIVIDAD BIOLOGICA DE REMOCION DE CONTAMINANTES EN LOS REACTORES DHS.

- La actividad biológica del DHS se vio afectada por factores ambientales. Siendo una de estas la luz solar a la que estuvo expuesta inicialmente dichos reactores, debido a que los envases eran transparentes. La consecuencia fue el crecimiento de algas en las esponjas así como en los reactores. Por lo que fue necesario cubrirlos con bolsas plásticas de color negro para evitar la luz solar.
- El tiempo de demora del crecimiento de la biomasa se dio en aproximadamente en 15 días después de la disposición de las esponjas en los reactores de acrílico del DHS. Esto se debió a que al principio las esponjas estaban limpias y posteriormente con la inoculación de aguas provenientes del afluente del DHS creó un medio adecuado para el crecimiento de biomasa debido a los nutrientes que se encuentran en los desagües domésticos. Siendo esta biomasa formada dentro de las esponjas el principal agente de remoción de contaminantes del efluente del UASB.

VII.2. CON RESPECTO A LA OPERACIÓN DE LOS REACTORES DHS

- Respecto a la operación del Sistema estudiado se tuvo que verificar tres veces al día el caudal de entrada a los reactores DHS. Dado que el caudal

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

de 41 gotas/min tiene un tiempo de retención hidráulica de 4 horas que es un parámetro constante en el estudio.

- En el periodo dos se adiciono un decantador a la salida de los reactores para mejorar la calidad del efluente con respecto a los sedimentos formados debido a que los valores iniciales de sólidos reportaron un incremento de los mismos por el posible arrastre de la biomasa proveniente de las esponjas en vista a los primeros resultados de sólidos volátiles en el periodo uno.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES

- Se concluye que el reactor D.H.S. como post tratamiento efectuado en el U.A.S.B., ha obtenido resultados favorables con respecto a la remoción de contaminantes, con relación a los parámetros de:
 - DQO filtrada ha alcanzado una eficiencia de 76 y 65 % para el reactor DHS 1 y DHS 2 respectivamente para el periodo 2. En el periodo 1 no se midió este parámetro.
 - DQO sin filtrar se obtuvo valores por encima del 80 % en los reactores DHS 1 y DHS 2 para los periodos 1 y 2.
 - DBO ha alcanzado una eficiencia por encima al 90 % para el reactor DHS 1 y DHS 2 para el periodo 2 y aproximadamente el 50% de eficiencia para el periodo 1.

- El pH del efluente del sistema D.H.S. para los tiempos teórico de 4 horas en el periodo 1 y para el tiempo de retención teórico de 2 horas en el periodo 2 .Así como también para los valores de tiempo de retención de retención real estuvieron dentro del rango favorable de 6.5 a 8.5.

- Se obtuvieron valores mínimos de DBO en el efluente de ambos reactores de 1.12 mg/l para el periodo 2 y 20.47 mg/l para el periodo 1. Siendo estos valores menores al límite máximo permisible que es de 100 mg/l. Este

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

resultado se debe a la separación de los módulos lo que origino que las bacterias aerobias tengan una oxigenación adicional al proceso de tratamiento lo que permitió que la biodegradación de la materia orgánica sea más eficiente.

- Se obtuvieron valores mínimos de DQO 25 mg/l y 37 mg/l en los reactores D.H.S. 1 y 2 respectivamente para el periodo 2. Por otro lado se obtuvo valores de 55 mg/l y 45 mg/l en los reactores D.H.S. 1 y 2 respectivamente para el periodo 1. Siendo estos valores obtenidos menores al límite máximo permisible que es de 200 mg/l. Este resultado se debe a que las bacterias aerobias tuvieron una oxigenación adicional debido a la separación entre modulo y modulo que permitió que la cantidad de sustancias susceptibles a ser oxidadas por medios químicos tengan una oxigenación adicional debido a dicha separación de módulos dentro del reactor D.H.S.
- Se obtuvieron valores de DQO filtrada por debajo a la DQO sin filtrar en la mayoría de nuestros resultados a excepción de los valores de la DQO filtrada y sin filtrar para el reactor DHS 2 del 24 de setiembre esto se debió a la mala disposición del papel filtro en laboratorio. Los valores de la DQO filtrada siempre deben estar por debajo de la DQO sin filtrar debido a que el filtrado retiene la materia orgánica biodegradable teniendo así en la muestra a medir solo la materia no biodegradable que es lo que realmente se necesita remover en términos de DQO.
- Se ha obtenido una remoción de Coliformes totales y termotolerantes por encima del 90% del rendimiento en relación a la cantidad de Coliformes que ingreso al reactor. Habiéndose obtenido el valor mínimo con respecto a Coliformes Termotolerantes de 2300 NMP/100 ml para el reactor DHS 1 en el periodo 1 y 2. Se puede decir que la eficiencia es buena y se debe a que la biomasa formada en las esponjas han removido los coliformes termotolerantes a través de su medio poroso originándoles un medio

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

inadecuado para su crecimiento. Esta agua está dentro por debajo de los límites máximo permisible para vertido a cuerpos de agua según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. (LMP<10000 NMP/100 ml). Por lo tanto se puede verter hacia otros cuerpos de agua.

- De los parámetros obtenidos se puede concluir que los valores están dentro de los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales (PTAR) según Decreto Supremo N° 003- 2010 – MINAM.
- La presencia de larvas se debió al estancamiento de las aguas a tratar que viene hacer el efluente del reactor U.A.S.B., y debido a que estas aguas superficiales están expuestas al medio ambiente, origina que los mosquitos dejen sus huevos en la superficie del reactor, para posteriormente en el proceso del tratamiento del efluente del reactor U.A.S.B., a través del reactor D.H.S. sean estos huevos retenidos en los poros de las esponjas y con las condiciones favorables de crecimiento originen la proliferación de larvas.
- La vida útil de la esponja depende de la disminución el rendimiento de filtrado, dado que la porosidad disminuye con el crecimiento de larvas dentro de los poros de las esponjas, para nuestro experimento el tiempo en el que se cambió la esponja fue después de 3 meses de haber iniciado la investigación debido a la presencia de larvas.
- Una de las ventajas principales de este sistema de post tratamiento de reactores UASB frente al sistema de lagunaje es que ocupa mucho menos área. Así mismo los costos son menores ya que no hay movimientos de tierras para su construcción ni uso de geomembranas.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el caso de la turbiedad se obtuvo valores promedio mayores para el periodo uno (caudal de 8.1 l/día) comparados con los valores promedio del periodo dos caudal de (16.2 l/día) concluyendo que se presenta deficiencias para un tiempo de retención menor a 4 horas.
- El área superficial para cada reactor D.H.S. fue de 0.008 m², por lo tanto si se hace un cálculo estimado para tratar 1 m³ de aguas residuales se requerirán 0.472 m², lo que lo coloca a este sistema como una tecnología atractiva para el post tratamiento de reactores UASB en comparación con sistemas de lagunaje que requieren mayor área.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO IX: RECOMENDACIONES

- Investigar el post tratamiento para tiempos de retención por horas, para todas las estaciones y tener en cuenta la porosidad de la esponja.
- Lavar los envases de 1 litro para mejorar el buen funcionamiento del sistema.
- Lavar el tanque de almacenamiento periódicamente para evitar la formación de natas en la superficie producto del proceso anaerobio que el efluente del U.A.S.B. ha tenido anteriormente.
- Lavar las esponjas periódicamente para evitar la formación de larvas en la capa biológica de las esponjas (D.H.S.).
- Realizar investigaciones de Reactores D.H.S. de mayor capacidad, manteniendo constante el tiempo de retención.
- La distribución del afluente debe ser uniforme hacia los reactores para evitar que se produzcan espacios muertos en las esponjas. Así se obtendrá que el crecimiento bacteriológico en las esponjas sea uniforme.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

- Se recomienda medir el volumen de lodos del efluente del reactor U.A.S.B. para determinar las dimensiones del tanque de sedimentación (unidad previa a los reactores D.H.S.). Esto permitirá que la construcción de la planta sea a escala real.
- Se puede construir una planta real debido a que las investigaciones realizadas demostraron que el prototipo D.H.S. obtuvo buena eficiencia con respecto a remoción de contaminantes y porque también en otros países están dando buenos resultados. Pero se debería desarrollar más investigaciones para optimizar la calidad del efluente de reactor D.H.S.
- Se recomienda realizar análisis de patógenos en el efluente del reactor D.H.S.
- Se recomienda cubrir el sistema del reactor D.H.S. con bolsas de plástico de color negro para evitar la exposición de la luz solar y así evitar el crecimiento de algas en el sistema.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A ESCALA PILOTO

CAPITULO X: BIBLIOGRAFIA

Performance of a pilot-scale sewage treatment: An up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) and a down-flow hanging sponge (DHS) reactors combined system by sulfur-redox reaction process under low-temperature conditions, 2010, Japón.

India - Japan International Collaboration for an Innovative Sewage Treatment Technology with Cost-effective and Minimum Energy Requirement, 2002, India.

Combination of a UASB reactor and a curtain type DHS (downflow hanging sponge) reactor as a cost-effective sewage treatment system for developing countries, 2000, Japón.

Feasibility study of a pilot-scale sewage treatment system combining an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) and an aerated fixed bed (AFB) reactor at ambient temperature, 2007, Japón.

DHS (Down-flow Hanging Sponge) Bio -Tower a Sustainable Method for Waste Water Treatment, 2001, India.

Tratamiento y depuración de las agua residuales, Metcalf & Eddy, 1995, España.

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGIA REACTOR D.H.S. A
ESCALA PILOTO**

Calidad del agua y control de la polución, 1980, Venezuela.

Centro de investigación de Tratamiento de Aguas Residuales (CITRAR), 2012, Perú.

<http://www.paraíso-peru.com/> último acceso 10/12/11

http://es.wikipedia.org/wiki/Espuma_de_poliuretano último acceso 12/2/2012