

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



“EVALUACION COMPARATIVA EN UNA PLANTA A ESCALA
PILOTO DE LODOS ACTIVADOS DE AIREACION
PROLONGADA EN EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADO DE
RELLENO SANITARIO MUNICIPAL DILUIDO CON AGUA
RESIDUAL”

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

DAVILA ABRIL, JULIO ALONSO

GRANDA PEREA, FELIX MARTIN

LIMA - PERU

2013

DEDICATORIA

JULIO ALONSO DAVILA ABRIL

A mis padres Julio y Magali, por haberme apoyado en todo momento, por ser los pilares fundamentales en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo pero más que nada, por su amor.

FELIX MARTIN GRANDA PEREA

La presente tesis está dedicada a, mis padres Waldo y Marita, principales pilares de mi formación integral, mi familia y seres queridos que se adelantaron en el camino.

AGRADECIMIENTOS

JULIO ALONSO DAVILA ABRIL

FELIX MARTIN GRANDA PEREA

Agradecimientos a Dios, por guiarnos todos nuestros días, a nuestra alma Mater la Universidad Nacional de Ingeniería por el aporte en nuestra formación profesional, a la MSc Rosa Elena Yaya Beas por sus enseñanzas, apoyo en el desarrollo de la presente tesis e incansable paciencia en la lectura y corrección de la misma y a CASREN E.I.R.L. por su total colaboración.

RESUMEN

La presente tesis de investigación buscó ampliar los conocimientos en el tratamiento de los lixiviados comparando en un sistema de tratamiento utilizando la tecnología de lodos activados. Se usó dos reactores de lodos activados con aireación prolongada, el primer reactor (R1) realizó el proceso de tratamiento del sustrato sin la recirculación del lodo proveniente de la zona de sedimentación, mientras que el segundo reactor (R2), realizó el tratamiento con una recirculación del lodo proveniente de la zona de sedimentación, con el objetivo de encontrar cuál de las dos alternativas planteadas resultaba más eficiente en el tratamiento de dicho sustrato al ir variando la concentración de la mezcla lixiviado y agua residual.

Los parámetros de diseño fueron establecidos para un caudal de 144 l/día y un tiempo de retención de 30 horas; asimismo, en ambos reactores se procedió a inocular lodo activo de manera ecuánime, a razón de 60 litros de lodo para cada reactor equivalente a 3664 mg/L de SST y de 3100 mg/L de SSV; obteniendo así, una eficiencia en remoción de la DBO₅ carga orgánica del 85.04% con un 6% de dilución para el reactor R1 y un 84.50% con un 8% de dilución para el reactor R2. Con respecto a la DQO para el reactor R1 es técnicamente adaptable y posible el tratamiento de los lixiviados diluido con aguas residuales hasta un 3.0% en relación al volumen, alcanzando una eficiencia del 67.10% y para el reactor R2 hasta un 4.0% en relación al volumen, alcanzando una eficiencia del 70.80%

En el reactor N°1 las condiciones que cumplen con la normatividad son para una dilución del 3.0% en relación de volumen entre el lixiviado y agua residual. Para estas condiciones de operación el afluente presentó una DBO₅ de 191.7 mg/L, una DQO de 587.0 mg/L, una relación de DBO₅/DQO igual a 0.33, una carga orgánica de 0.028 KgDBO₅/d. y 0.085 KgDQO/d. En el tanque de aireación para las condiciones indicadas se obtuvo una cantidad de sólidos suspendidos totales de 710 mg/L y 514 mg/L de sólidos suspendidos volátiles, con un 72% de la

presencia biológica en los SST del tanque de aireación, la presencia del oxígeno disuelto para estas condiciones fue de 3.1 mg/L, el índice volumétrica de lodos funcionó en la dilución mencionada fue de 40.85 ml/gr, la carga másica-alimento/microorganismos se encontró en 0.29 KgDBO₅/KgSSV.dia. y 0.89 KgDQO/KgSSV.dia. El efluente para estas condiciones óptimas de funcionamiento se obtuvo una DBO₅ de 22.55 mg/L con una remoción del 88.24% y una DQO de 193 mg/L con una remoción del 70.87% de la misma.

En el reactor R2 las condiciones que cumplen con la normatividad son para una dilución del 4.0% en relación de volumen entre el lixiviados y agua residual. Para estas condiciones de operación el afluente presentó una DBO₅ de 206.36 mgD/L, una DQO de 592 mg/L, una relación de DBO₅/DQO igual a 0.35, una carga orgánica de 0.030 KgDBO₅/d. y 0.085 KgDQO/d. En el tanque de aireación para las condiciones indicadas se obtuvo una cantidad de sólidos suspendidos totales de 2436 mg/L y 1956 mg/L de sólidos suspendidos volátiles, con un 80% de la presencia biológica en los SST del tanque de aireación, la presencia del oxígeno disuelto para estas condiciones fue de 2.9 mg/L, el índice volumétrica de lodos funcionó en la dilución mencionada fue de 35.3 ml/gr, la carga másica-alimento/microorganismos se encontró en 0.08 KgDBO₅/KgSSV.dia. y 0.23 KgDQO/KgSSV.dia. El efluente para estas condiciones óptimas de funcionamiento se obtuvo una DBO₅ de 14.97 mg/L con una remoción del 92.75% y una DQO de 182 mg/L con una remoción del 69.26% de la misma.

En base a los resultados obtenidos en la presente tesis podemos afirmar que el empleo de la tecnología de lodos activados de con aireación prolongada y recirculación de lodo proveniente del sedimentador secundario es una mejor alternativa que el mismo proceso sin recirculación. Asimismo esta tecnología se puede emplear para una dilución de lixiviado (con una DBO₅ de 2500 mg/L y DOQ de 13500 mg/L) y agua residual hasta en un 4% (v/v). Al recircular el lodo del sedimentador secundario ayuda a mantener la cantidad y calidad de sólidos suspendidos volátiles en el reactor R2, y una gran ventaja en la adaptación de la biomasa a los eventuales cambios de la carga orgánica.

GLOSARIO

- **SST:** : Sólidos Suspendidos Totales.
- **SSV:** : Sólidos Suspendidos Volátiles.
- **ST:** : Sólidos Totales.
- **SVT:** : Sólidos Volátiles Totales.
- **R1** : Reactor sin recirculación de lodo.
- **R2** : Reactor con recirculación de lodo.
- **PTAR** : Planta de tratamiento de agua residual.
- **COV:** : Compuestos Orgánicos Volátiles.
- **D** : Relación Lixiviado-Agua Residual.
- **MOFBD** : Materia Orgánica Fácilmente Biodegradable.
- **CO** : Carga Orgánica.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1

INTRODUCCION	1
--------------------	---

CAPITULO 2

DISEÑO DE LA INVESTIGACION	3
2.1. Planteamiento del problema	3
2.1.1. Identificación del problema	3
2.1.2. Formulación del problema	4
2.1.3. Justificación de la investigación	4
2.2. Objetivos de la investigación	5
2.2.1. Objetivo principal	5
2.2.2. Objetivos secundarios	5
2.3. Hipótesis de la investigación	6
2.4. Variables de estudio de la investigación	6
2.4.1. Variables dependientes	6
2.4.2. Variables independientes	7
2.4.3. Variables intervinientes	8
2.5. Definición de términos básicos	8
2.6. Marco legal	10
2.6.1. Aspectos legales en el Perú	10
2.7. Antecedentes de la investigación	11

CAPITULO 314

MARCO TEORICO	14
3.1. Generalidades	14
3.2. Lixiviado	15
3.2.1. Calidad de los lixiviados	15
3.2.2. Clasificación de los lixiviados	19
3.2.3. Generación y factores que intervienen en su producción	20
3.2.3.1 Generación	20
3.2.3.2 Cálculo de la generación de lixiviado	20

3.2.3.3	Factores que intervienen	21
3.2.4.	Recirculación de lixiviado	22
3.2.5.	Sustancias peligrosas	24
3.2.6.	Problemas asociados en la generación de lixiviados	25
3.3.	Relleno sanitario de ancón	26
3.3.1.	Ubicación	26
3.3.2.	Vías de acceso.....	28
3.3.3.	Hidrogeología.....	29
3.3.4.	Topografía.....	30
3.3.5.	Información sobre vertimiento de residuos sólidos y líquidos.	30
3.4.	Tiempo de retención hidráulico.....	31
CAPITULO 4		
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		33
4.1.	Tratamiento biológico	33
4.2.	Procesos aerobios.....	34
4.3.	Tratamiento por lodos activados.....	35
4.3.1.	Descripción del proceso	35
4.3.2.	Elementos básicos de las instalaciones del proceso.	37
4.3.3.	Parámetros del proceso de lodos activados	37
4.3.3.1	Parámetros operacionales	37
4.3.3.2	Parámetros de control	39
4.3.4.	Tipos de lodos activados	40
4.3.4.1	De mezcla completa	40
4.3.4.2	De aireación prolongada.....	41
CAPITULO 5		
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION		42
5.1.	Ubicación de la planta a escala piloto.....	42
5.2.	Descripción general del sistema.....	43
5.2.1.	Sistema de captación.	47
5.2.2.	Tanque de homogenización.	48
5.2.3.	Dispositivo regulador de caudal.....	50

5.2.4.	Sistema de tratamiento secundario.....	51
5.2.5.	Tanque de rebose.....	57
5.3.	Criterios de diseño.....	58
5.3.1.	Criterios estructurales.....	58
5.3.2.	Criterios de diseño hidráulicos.....	59
5.3.3.	Consideraciones durante el proceso constructivo.....	60
5.4.	Pruebas realizadas y acciones preliminares.....	62
5.4.1.	Pruebas de campo.....	62
5.4.1.1	Pruebas hidráulicas.....	62
5.4.1.2	Capacidad de oxigenación.....	63
5.4.1.3	Determinación del oxígeno disuelto.....	63
5.4.1.4	Determinación del tiempo de retención hidráulica.....	64
5.4.2.	Pruebas de laboratorio.....	65
5.4.2.1	Determinación de turbiedad.....	67
5.4.2.2	Determinación de conductividad.....	67
5.4.2.3	Determinación de pH y temperatura.....	68
5.4.2.4	Determinación de oxígeno disuelto.....	69
5.4.2.5	Determinación del índice volumétrico de lodo.....	69
5.4.2.6	Determinación de sólidos totales.....	71
5.4.2.7	Determinación de sólidos disueltos.....	71
5.4.2.8	Determinación de sólidos suspendidos.....	72
5.4.2.9	Determinación de sólidos fijos y volátiles.....	72
5.4.2.10	Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	73
5.4.2.11	Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO).....	76
5.4.2.12	Determinación de microorganismos.....	77
5.4.3.	Traslado del lixiviado del relleno sanitario a CITRAR-UNI.....	78
CAPITULO 6		
PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA A ESCALA PILOTO.....		80
6.1.	Primera etapa - puesta en marcha con aguas residuales.....	80
6.2.	Segunda etapa - puesta en marcha con agua residual y lixiviado en dilución.....	82

CAPITULO 7

RESULTADOS OBTENIDOS.....	86
7.1. Resultados de medición del pH.....	86
7.1.1. Temperatura ambiental	93
7.1.2. Resultados de medición de la temperatura.....	93
7.1.3. Resultados de medición de la turbiedad.....	101
7.1.4. Resultados de medición de la conductividad.....	108
7.1.5. Resultados en la medición de los sólidos suspendidos.....	113
7.1.6. Variación de la DBO ₅ del Reactor R1 y Reactor R2.....	131
7.1.7. Variación de la DQO del Reactor R1 y Reactor R2.....	136
7.1.8. Variación de la relación DBO ₅ -DQO.....	141
7.1.9. Variación del índice volumétrico de lodo en el Reactor N° 1 y Reactor N° 2.....	142
7.1.10. Variación de la relación microorganismo - alimento en el Reactor R1 y Reactor R2.....	145
7.1.11. Microorganismos presentes en los reactores	148
7.1.12. Variación del oxígeno disuelto en el Reactor R1 y Reactor R2.....	152
7.1.13. Comparación entre algunos resultados.....	156
7.1.14. Determinación del tiempo de retención real en el Reactor N° 1 y Reactor N° 2.....	157

CAPITULO 8

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	159
8.1. Análisis de los resultados obtenidos de la evaluación del sistema a escala de laboratorio.....	159
8.1.1. Potencial hidrogeno (pH).....	159
8.1.2. Temperatura ambiental y en los reactores.....	160
8.1.3. Turbiedad.....	161
8.1.4. Conductividad.....	162
8.1.5. Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV).....	162
8.1.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	163
8.1.7. Demanda química de oxígeno (DQO).....	165
8.1.8. Índice volumétrico de lodo.....	166

8.1.9. Carga másica – Relación alimento/microorganismos	168
8.1.10. Oxígeno disuelto en los reactores.	169
8.1.11. Tiempo de retención.....	170
8.1.12. Microorganismos Presente en la Planta a Escala de Laboratorio.	171
CAPITULO 9	
CONCLUSIONES	172
CAPITULO 10	
RECOMENDACIONES	177
CAPITULO 11	
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	179

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación de características típicas de los lixiviados de relleno sanitario.	17
Tabla 2. Valores generales para los parámetros físico-químicos de lixiviados de relleno sanitario.....	25
Tabla 3 Cuadro comparativo de las principales tecnologías existentes en el tratamiento de lixiviados.....	26
Tabla 4. Accesibilidad al relleno sanitario de estudio	28
Tabla 5. Parámetros de control para una operación efectiva.	39
Tabla 6. Parámetros iniciales en cada reactor.	44
Tabla 7 Parámetros de monitoreo y frecuencia de control en la planta.	65
Tabla 8 Metodología para los análisis a desarrollar en la investigación.	66
Tabla 9 Medición de la DBO ₅ con muestras de diferentes diluciones.....	75
Tabla 10. Variación del pH durante el periodo de investigación	87
Tabla 11. Variación de la temperatura ambiental durante la investigación.	93
Tabla 12. Variación de la temperatura durante el periodo de investigación.....	94
Tabla 13. Variación de la turbiedad.....	101
Tabla 14. Variación de la conductividad (D = 0%).....	108
Tabla 15 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 0%).....	113
Tabla 16 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 1%).....	115
Tabla 17 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 1.5%).....	116
Tabla 18 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 2%).....	118
Tabla 19 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 3%).....	119
Tabla 20 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 4%).....	121
Tabla 21. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 5%).....	122
Tabla 22 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 6%).....	124
Tabla 23 Variación de los sólidos suspendidos, (D = 7%).....	125

Tabla 24. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 8%).....	127
Tabla 25. Variación de la DBO ₅ , (D = 0%-8%)	131
Tabla 26. Variación de la DQO, (D = 0%-8%)	136
Tabla 27. Relación DBO-DQO a una dilución del 0%-8% (AR-L).....	141
Tabla 28. Variación del IVL a una dilución del 0%-8% (AR-L).....	142
Tabla 29. Relación A/M a una dilución del 0%-8% (AR-L).....	145
Tabla 30. Variación del oxígeno disuelto a una dilución del 0%-8% (AR-L).	152
Tabla 31. Comparación de algunos resultados a una dilución del 0%-8% (AR-L).	156

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 Variación del pH en el afluente y efluentes R1 y R2 (D: 0%-8%).....	91
Gráfico 2 Variación del pH en los reactores (D: 0%-8%).....	92
Gráfico 3 Variación de la temperatura – efluente (D: 0%-8%).....	98
Gráfico 4 Variación de la temperatura - reactor (D: 0%-8%)	99
Gráfico 5 Variación de la temperatura vs límite máximo permisible para efluente de PTAR.....	100
Gráfico 6 Variación de la turbiedad al incrementar dilución (D: 0%-8%)	106
Gráfico 7 Variación de la remoción de la turbiedad al incrementar la dilución (D: 0%-8%).....	107
Gráfico 8 Variación de la conductividad al incrementar la dilución (D: 0%-8%).....	112
Gráfico 9 Variación de los SST, (D = 0%).....	114
Gráfico 10 Variación de los SSV (D = 0%).....	114
Gráfico 11 Variación de los SST, (D = 1%).....	115
Gráfico 12 Variación de los SSV, (D = 1%).....	116
Gráfico 13 Variación de los SST, (D = 1.5%)	117
Gráfico 14 Variación de los SSV, (D = 1.5%).....	117
Gráfico 15 Variación de los SST, (D = 2%).....	118
Gráfico 16 Variación de los SSV, (D = 2%).....	119
Gráfico 17 Variación de los SST, (D = 3%)	120
Gráfico 18 Variación de los SSV, (D = 3%).....	120
Gráfico 19 Variación de los SST, (D = 4%)	121
Gráfico 20 Variación de los SSV, (D = 4%).....	122
Gráfico 21 Variación de los SST, (D = 5%)	123
Gráfico 22 Variación de los SSV, (D = 5%).....	123
Gráfico 23 Variación de los SST, (D = 6%)	124

Gráfico 24 Variación de los SSV, (D = 6%)	125
Gráfico 25 Variación de los SST, (D = 7%)	126
Gráfico 26 Variación de los SSV, (D = 7%)	126
Gráfico 27 Variación de los SST, (D = 8%)	127
Gráfico 28 Variación de los SSV, (D = 8%)	128
Gráfico 29 Variaciones de los SST entre R1 y R2 al incrementar la dilución (D: 0% - 8%)	129
Gráfico 30 Variaciones de los SSV entre R1 y R2 al incrementar la dilución (D: 0% - 8%)	130
Gráfico 31 variación de la demanda bioquímica de oxígeno	133
Gráfico 32 Variación de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno	134
Gráfico 33 Variaciones de la DBO ₅ vs límite máximo permisible para un efluente de PTAR.....	135
Gráfico 34 Variación de la demanda química de oxígeno	138
Gráfico 35 Variación de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno	139
Gráfico 36 Variaciones de la DQO VS límite máximo permisible para un efluente de PTAR.....	140
Gráfico 37, Variación del IVL en cada Reactor al incrementar la dilución (D: 0%-8%)	144
Gráfico 38 Relación A/M vs Remoción de DQO al incrementar la dilución (D:0%-8%).	147
Gráfico 39 Relación A/M vs Remoción de DBO ₅ al incrementar la dilución (D:0%-8%).	147
Gráfico 40 Variación de la DBO ₅ vs OD en cada Reactor (D: 0% - 8%)	154
Gráfico 41 Variación de la DQO vs OD en cada Reactor al incrementar la dilución (L-AR) del 0% al 8%.....	155
Gráfico 42 Determinación del tiempo de retención real en el reactor N°1	157
Gráfico 43 Determinación del tiempo de retención real en el reactor N°2	158

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de lixiviados [LUTFI, 2003]	16
Figura 2. Vista Satelital del Relleno Sanitario de Ancón.....	27
Figura 3. Ingreso al Relleno Sanitario de Ancón.	28
Figura 4. Esquema del Relleno Sanitario de Ancón.	29
Figura 5. Esquema de recolección y almacenamiento de lixiviado	31
Figura 6. Diagrama de flujo de lodos activados convencional [Romero, 2005].....	40
Figura 7. Ubicación del Sistema de Lodos Activados en las instalaciones de CITRAR-UNI.	42
Figura 8. Dimensiones del Reactor R1 y Reactor R2.....	45
Figura 9. Principales Componentes en la Planta a escala piloto.	45
Figura 10. Vista de Planta de los Reactores de Lodos Activados	46
Figura 11. Captación del Agua Residual para la dilución del Lixiviado.	47
Figura 12. Tanque de Polietileno de 1100 litros.	49
Figura 13. Mantenimiento del Tanque de Homogenización.	49
Figura 14. Dispositivo Regulador de Caudal.	50
Figura 15. Vista de lateral del Dispositivo Regulador de Caudal.	51
Figura 16. Esquema general de la planta a escala piloto.	53
Figura 17. Vista lateral de la planta a escala piloto.	53
Figura 18. Vista General de la Planta a Escala piloto.....	54
Figura 19. Vista de Planta del Sedimentador Secundario.	55
Figura 20. Sistema de Piedras Difusoras para la Transferencia de Oxígeno.....	55
Figura 21. Recirculación del Lodo del sedimentador al licor Mezclado en R2.	56
Figura 22. Regulador del caudal de aire para el sistema de difusores.	56
Figura 23. Recirculación del rebose al tanque de homogenización.....	58
Figura 24. Primera configuración para el desarrollo de la investigación.	61

Figura 25. Prueba hidráulica a la planta de tratamiento a escala piloto.....	62
Figura 26. Prueba del sistema para la capacidad de oxigenación.....	63
Figura 27. Métodos y equipos empleados para la determinación de OD.....	64
Figura 28. Equipo y materiales para determinar la turbiedad.	67
Figura 29. Equipo y materiales para determinar la conductividad.	68
Figura 30. Equipo y materiales para determinar el pH y temperatura.....	68
Figura 31. Materiales y reactivos rutinarios en la determinación del OD.	69
Figura 32. Determinación del IVL en cada reactor.	70
Figura 33. Acondicionamiento de las cápsulas antes de ser pesadas.....	71
Figura 34. Acondicionamiento y filtración de cada muestra.....	72
Figura 35. Horno y mufla empleados en la determinación de los sólidos.	73
Figura 36. Preparación de las muestras y diluciones correspondientes.	74
Figura 37. Inoculación de reactivos después de la incubación.....	74
Figura 38. Inoculación de afluente y efluente de cada reactor a los viales.	77
Figura 39. Reactor y resultados de la DQO.	77
Figura 40. Algunos microorganismos observados en la investigación.....	78
Figura 41. Transporte del lixiviado a la planta a escala piloto.	79
Figura 42. Almacenamiento del lixiviado para la investigación.....	79
Figura 43. Conservación del Lodo a inocular.	80
Figura 44. Puesta en Marcha con agua residual.	81
Figura 45. Fase inicial y final de la Investigación.	83
Figura 46. Inicio de las diluciones de Lixiviado con agua residual.....	84
Figura 47. Lecho de secado del Reactor R1.	84
Figura 48. Primer y último muestreo de diluciones L - AR.....	85
Figura 49. Colonia <i>Epistylis plicatilis</i>	148
Figura 50. <i>Epistylis plicatilis</i> (individuo).....	148

Figura 51. philodina sp.....	149
Figura 52. philodina sp, formando quiste	149
Figura 53. philodina sp.....	149
Figura 54. NEMATODES (Reactor 1-2)	150
Figura 55. DIFLUGIA (Reactor 1).....	150
Figura 56. MICROORGANISMOS FORMANDO QUISTE (Reactor 1-2).....	151
Figura 57. MICROORGANISMOS FORMANDO QUISTE (Reactor 1-2).....	151
Figura 58 Observación microscópica del lodo en cada reactor.	167
Figura 59 Levantamiento del lodo en el sedimentador secundario.....	168

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Enterrar los residuos sólidos domiciliarios, por diversos métodos, ha sido, y es aún, la práctica más utilizada por las sociedades para su manejo; y uno de los problemas Ambientales generados en los rellenos sanitarios son los lixiviados, los cuales son producto del agua que traen los residuos sólidos y de los procesos bioquímicos que se genera en el interior del relleno sanitario.

Qasin y Chiang (1994) indican que lixiviados con una DQO de 10,000 mg/L pueden ser tratados en una proporción lixiviado-agua residual del 5% en volumen sin causar efectos negativos en los procesos de tratamiento y en la calidad del efluente.

En otro estudio, los lixiviados con una DQO de 37,667 mg/L y DBO₅ de 13,821 mg/L, fueron incorporados y tratados en un sistema de lodos activados en una relación lixiviado-agua residual del 1.5% (v/v) sin causar efectos negativos. Logrando una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica biodegradable y nitrógeno amoniacal [Orta et al., 1999].

En el presente estudio, los lixiviados crudos presentaban un valor de DBO₅ de 2500 mg/L y un valor de DQO de 13500 mg/L. Al agua residual se fue añadiendo este lixiviado, variado la relación lixiviados-agua residual desde el 1% hasta un incremento del 8% en relación de volumen, con la finalidad de obtener términos comparativos de eficiencia y calidad de efluente entre los dos reactores en estudio.

Este estudio se realizó con las finalidades de evaluar como alternativa de tratamiento de los lixiviados, el uso de la tecnología de Lodos Activados de con aireación prolongada y a su vez, comparar la eficiencia entre los dos reactores de la planta a escala piloto; el primero sin una recirculación de lodos proveniente de la zona de sedimentación y el segundo con la recirculación de lodos proveniente de la zona de sedimentación de cada una de ellos.

Para tal fin ha sido necesario monitorear la calidad del afluente, el cual consistía en una mezcla homogénea de lixiviado y agua residual, y del efluente, proveniente de la zona de sedimentación de cada reactor de la planta a escala piloto, para llevar a cabo este fin se midieron parámetros como pH, T°, Conductividad, Turbiedad, Sólidos Totales, disueltos y suspendidos, así como el nivel de remoción de carga orgánica a través de la DBO₅ y DQO. Por otro lado en el transcurso de la experiencia se fue midiendo otros parámetros como cantidad de lodo producido y oxígeno disuelto en cada uno de los reactores.

CAPITULO 2

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

2.1. Planteamiento del problema

2.1.1. Identificación del problema

En nuestra actualidad uno de los problemas más importantes para diseñar y mantener un relleno sanitario está en el manejo del lixiviado que se genera tras el paso de agua a través de la basura y la descomposición de la misma.

Se utilizó lixiviado producido en el Relleno Sanitario de Ancón, ubicado en el kilómetro 45.5 de la Panamericana Norte, el cual es operado por la empresa CASREN EIRL, y los cuales vienen siendo recirculados a través de las capas de residuos sólidos, dicho proceso se da por un camión cisterna, el cual desde la poza de almacenamiento de lixiviado va distribuyéndolo por todo el recinto. Pero dicho proceso no puede ser perenne, debido a que en el tiempo el incremento de producción de lixiviado será mayor. Entonces como una solución a dicho problema se hace necesario evaluar una alternativa de tratamiento de lixiviado.

Si los lixiviados no son manejados con nociones sanitarias pueden llegar a causar daños irreparables al medio ambiente y por ende al ser humano.

2.1.2. Formulación del problema

Los lixiviados del relleno sanitario municipal son efluentes complejos de características contaminantes muy agresivas por ende es uno de los problemas más desafiantes en la ingeniería del tratamiento de aguas residuales.

En la presente investigación se plantío comparar en un sistema de tratamiento utilizando la tecnología de lodos activados, haciendo uso de dos reactores de lodos activados con aireación prolongada, con y sin recirculación de lodo proveniente de la zona de sedimentación, con el objetivo de encontrar cuál de las dos alternativas planteadas resulta más eficiente en el tratamiento de dicho sustrato. Por lo tanto se evaluó si la recirculación de lodo proveniente de la zona de sedimentación hará más eficaz el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario Municipal diluido con Agua residual.

2.1.3. Justificación de la investigación

Esta investigación permitirá ampliar los conocimientos y metodologías empleadas en el tratamiento de lixiviados, así mismo, evaluar las ventajas y desventajas al recircular el lodo proveniente de la zona de sedimentación y de esta manera conocer la contribución de la investigación en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

En nuestro país, aun no se ha desarrolla a gran escala el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios, debido a la falta de investigación en el campo, la carencia económica y la escasez de conocimiento en el manejo de residuos sólidos. En el Perú existen 9 rellenos sanitarios de los cuales 5 rellenos sanitarios se encuentran en Lima y según la información encontrada, ninguno posee un tratamiento de lixiviados debido a diversos factores, pero en lugares en que las condiciones no son favorables es de suma importancia

tratarlos; de esta manera, se estaría minimizando el impacto y evitando la contaminación aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos.

Por ello, mediante la presente investigación, se buscó encontrar una remoción eficiente de la carga orgánica en los dos reactores y comprobar si efectivamente haciendo una recirculación de lodo se tiene un mejor resultado.

2.2. Objetivos de la investigación

2.2.1. Objetivo principal

- Comparar, la remoción de la DBO₅ y DQO al ir variando la concentración de la mezcla Lixiviado-Agua Residual, entre un proceso de Lodos Activados con aireación prolongada con recirculación de lodo proveniente de la zona de sedimentación y un proceso de Lodos Activados con aireación prolongada sin recirculación de lodo.
-

2.2.2. Objetivos secundarios

- Caracterizar el lixiviado a emplear en el proceso de tratamiento a escala piloto.
- Determinar la cantidad y producción de sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos suspendidos y disueltos, en el proceso y en lodo a inocular en cada reactor.
- Evaluar parámetros como pH, T°, Conductividad y Turbiedad al ir incrementando el % de lixiviado.
- Determinar la calidad del licor mezclado en los respectivos reactores, teniendo en cuenta el IVL (Índice Volumétrico de Lodo).
- Caracterización de los microorganismos en los reactores de lodo activado.

- Determinar el tiempo de retención real de cada uno de los reactores y compararlo con el teórico.
- Determinar la eficiencia máxima en la remoción de materia orgánica de cada uno de los reactores a determinada concentración de lixiviado-agua residual.
- Determinar valores óptimos de oxígeno disuelto en cada uno de los reactores de lodos activados, con la finalidad de tener resultados que favorecen a un tratamiento biológico.

2.3. Hipótesis de la investigación

En el tratamiento de lixiviados de Relleno Sanitario Municipal diluido con agua residual doméstica, a escala piloto, usando la tecnología de lodos activados con aireación prolongada con recirculación de lodo, proveniente de la zona de sedimentación secundaria, se alcanzará mayor remoción de la carga orgánica que un sistema sin retorno de lodo.

2.4. Variables de estudio de la investigación

Con relación a los parámetros indicadores de la operación óptima de la unidad, se han considerado para el proceso de monitoreo, las siguientes variables:

2.4.1. Variables dependientes

Con relación a aquellas características que sufren alteraciones por efecto de las variables Independientes se han considerado para el proceso de monitoreo las siguientes variables dependientes:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno al 5to día (DBO_5) en los efluentes del R1 y R2.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los efluentes del R1 y R2.
- Oxígeno Disuelto en los efluentes y Licor Mezclado del R1 y R2.
- Sólidos Totales en el Licor Mezclado del R1 y R2.
- Sólidos Suspendidos en el Licor Mezclado del R1 y R2.
- Sólidos Disueltos en el Licor Mezclado del R1 y R2.
- Sólidos Sedimentables en el Licor Mezclado del R1 y R2.
- Índice Volumétrico de Lodo en el Licor Mezclado del R1 y R2.

2.4.2. Variables independientes

Referido a aquellos factores cuya modificación origina la alteración de las variables dependientes. Para el presente estudio las variables independientes corresponden a:

- Propiedades físicas y químicas del lixiviado proveniente del Relleno Sanitario Municipal de Ancón.
- Volumen de lodo recirculado en el tratamiento por la tecnología de lodos activados con aireación prolongada.
- El tiempo de retención en R1 y R2.
- Dimensiones de la planta a escala piloto.
- El porcentaje de dilución de la mezcla lixiviado-agua residual doméstica.
- Concentración de oxígeno disuelto en cada reactor de lodos activados de aireación prolongada.
- El caudal de ingreso al R1 y R2. Para este estudio el caudal del afluente fue uniforme.

2.4.3. Variables intervinientes

Referido a aquellas características o propiedades que de una manera u otra afectan el resultado que se espera y están vinculadas con las variables independientes y dependientes. Para el presente estudio las variables intervinientes corresponden a:

- La temperatura ambiental que mantiene una relación directa con la actividad microbiana en el R1 y R2.
- El lodo inoculado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Manchay-Perú en cada uno de los reactores de lodo activado de aireación prolongada.

2.5. Definición de términos básicos

- **Absorción:** Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión.
- **Adsorción:** Fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido.
- **Aerobio:** Condición en la cual hay presencia de aire u oxígeno libre.
- **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- **Agua residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- **Aireación:** Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).
- **Aireación prolongada:** Una modificación del tratamiento con lodos activados que facilita la mineralización del lodo en el tanque de aireación.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).
- **Demanda Química de Oxígeno:** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.
- **Digestión aerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en presencia de oxígeno.
- **Eficiencia de tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración inicial en un proceso o planta de tratamiento, y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentajes.
- **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- **Licor mezclado:** Mezcla de lodos activados y desechos líquidos, bajo aireación en el proceso de lodos activados.
- **Lodo activado:** Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aireación en el tratamiento con lodos activados.
- **Ph:** logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.
- **Planta de piloto:** Planta de Tratamiento a escala, para determinación de constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.
- **Relleno sanitario:** Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo la tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.
- **Residuos domiciliarios:** Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales desechables, restos de aseo personal y otros similares.

- **Tratamiento:** Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligroso de causar daños a la salud y el ambiente.
- **Tratamiento primario:** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.
- **Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.
- **Lixiviado Joven:** Son los lixiviados de las áreas de los rellenos sanitarios que han sido recientemente rellenos y producen un lixiviado altamente contaminante.
- **Lixiviado Maduro:** Son los lixiviados de las áreas de los rellenos sanitarios con una edad de uno a dos años.
- **Lixiviado Viejo:** Son los lixiviados de las áreas de los rellenos sanitarios con una edad superior a cinco años.

2.6. Marco legal

2.6.1. Aspectos legales en el Perú

En Perú no existe una normativa específica para el tratamiento de lixiviados provenientes de Relleno Sanitario Municipal. Para el control de los residuos sólidos se hace uso de los decretos y resoluciones que enfatizan el vertimiento de residuos líquidos y uso y cuidado de fuentes de agua que puedan ser contaminadas por vertimientos o filtraciones. A continuación se indican los principales documentos legales emitidos por el Gobierno Peruano. (Ver Anexo N°1, para mayor detalle)

- Constitución Política del Perú 1993, Artículos 66° y 68°.
- Ley General de Salud: Ley N° 26842, Artículos 96° y 104°.
- Ley General del Ambiente: Ley N° 28611, Artículos 29°, 31°, 32°, 120°, 121° y 122°.

- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua: Decreto Supremo N° 002-2008 MINAM.
- Disposiciones para la implementación de los ECA para agua: Decreto Supremo N° 023-2009 MINAM, Artículos 2° y 7°.
- Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR domésticas o municipales: Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM, Artículos 1° y 3°.
- Ley Orgánica de Gobiernos Regionales Ley N° 27902.
- Ley Orgánica de Municipalidades: Ley N° 27972, Artículos 80° y 141°
- Ley de Recursos Hídricos: Ley N° 29338 (2009), Artículos 5°, 9°, 10°, 11°, 25°, 34°, 44°, 45°, 59°, 73°, 75°, 76°, 79°, 80°, 81°, 82°, 83°, 92°, 120°, 121°, 122° y 125°.
- Resolución Jefatural N° 0291-ANA, Artículos 1°, 2° y 6°.
- Resolución Jefatural N° 0351-ANA.
- TUPA MINSA y sus órganos desconcentrados: D.S. N° 013-2009-SA.
- Ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental: Ley N° 27446, Artículos 1°, 5° y 15°.
- Ley General de servicios de saneamiento: Ley N° 26338, Artículos 4°, 8°, 9° y 10°.
- Reglamento de la Ley general de servicios de saneamiento: D.S N° 09-95-PRES, Artículos 17°, 55° y 56°.
- Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 y su modificación (d.l. 1065-2008), Artículos 1°, Inciso N° 2, Artículo 4° e Inciso N° 6, Artículo 4°.
- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos Artículo 78°, 88°
- Decreto de Alcaldía n° 147: Reglamento de la Ordenanza N°295/mml “Sistema Metropolitano de Gestión de Residuos Sólidos” (10-12-2001), Artículo 127°

2.7. Antecedentes de la investigación

El comportamiento de un lodo activado en cuanto a su capacidad para remover DBO y N-NH₄ de un lixiviado pretratado en una laguna anaerobia. La investigación se llevó a cabo en un lodo activado piloto de 30L, lográndose altas

remociones de DBO_5 (98%, 0,24 kg DBO_5/m^3 día) y de N-NH_4 (99%, 0,15 kg $\text{N-NH}_4/\text{m}^3$ día) cuando se aplican 0,073 kg DBO_5/kg SSV día (TRH 10 días) y 0,07 kg $\text{N-NH}_4/\text{SSV}$ día [Oettinger et al., 2009].

En el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta, se realizaron diagnóstico de calidad y cantidad del lixiviado generado, y se evaluaron dos sistemas de tratamiento biológico a escala piloto para este lixiviado. El lixiviado en el momento de la experiencia presentaba un rango de DQO de 7.650 a 28.250 mg/l. Los sistemas de tratamiento ensayados fueron: un reactor anaerobio del tipo UASB y un sistema de Biodiscos. La carga máxima asimilada por el sistema de Biodiscos fue de 31 gDQO/ $\text{m}^2\cdot\text{d}$, con una eficiencia de remoción promedio en DQO de 70% y eficiencias de remoción máximas por encima del 90% para una carga óptima en un rango de 15 a 20 gDQO/ $\text{m}^2\cdot\text{d}$; además, este sistema presentó gran estabilidad frente a variaciones importantes en cuanto a las características del lixiviado y ausencia de olores desagradables. Los porcentajes de remoción de DQO en el reactor UASB eran muy variables, con picos bajos y caídas muy marcadas, que indican que no se presentaba un funcionamiento óptimo del proceso durante la mayor parte del período de operación del reactor UASB; esto se debió principalmente a que no se tuvieron en cuenta las estrictas condiciones de este sistema [Álvarez et al., 2006].

En el tratamiento anaerobio de lixiviados proveniente de rellenos sanitarios utilizando 04 reactores anaeróbios de flujo ascendente secuencialmente instalados e inoculados con lodo proveniente del RAFA perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería. Se aseguró un caudal constante de 6.3×10^{-3} L/min, asimismo, se consideró un tiempo de retención hidráulico de 04 horas para cada reactor. Se determinó que la variación de la eficiencia del sistema en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno fue del orden del 50%, no se observó una eficiencia significativa en términos de Sólidos Suspendidos Volátiles (SST). Los valores obtenidos de las concentraciones de metales (Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc) tanto en el afluente como en el efluente muestran que estos se encuentran muy por debajo de las

concentraciones que tienen un efecto toxico para los microorganismos; por lo que podrían ocasionar un efecto positivo sobre el metabolismo de los microorganismos involucrados [Yaya, 2006].

En la tesis: Tratamiento de Lixiviado diluido con Agua Residual en una Planta Piloto a escala de un sistema de lodos activados con el fin de lograr un efluente optimo, determinaron una dilución de lixiviado y Agua residual optimo del 2% en volumen, en un reactor de lodos activados de mezcla completa, el cual no alteraba el proceso biológico del tratamiento del sistema, por ende, la calidad del efluente estaba dentro de los límites máximos permisibles según los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs). La remoción en dicho estudio estaba en el orden del 90% a 95% con la dilución ya mencionada [Ávila et al., 2010].

CAPITULO 3

MARCO TEORICO

3.1. Generalidades

A lo largo de la historia, el primer problema de los residuos sólidos ha sido su eliminación, pues su presencia es más evidente que la de otro tipo de residuos y su proximidad resulta molesta. La sociedad solucionó este problema quitando los residuos de la vista, arrojándolos a las afueras de las ciudades, a los cauces de los ríos o en el mar, u ocultándolo mediante enterramiento. El crecimiento acelerado de la población en los últimos años, así como el proceso de industrialización, han aumentado la generación de residuos. Hace 30 años, la generación de residuos por persona era de unos 200 a 500 gramos por habitante por día, mientras que hoy se estima entre 500 y 1.000 gramos por habitante por día. En los países desarrollados, esta cifra es dos a cuatro veces mayor. Pero el problema no radica solamente en la cantidad sino también en la calidad o composición de los residuos, que pasó de ser densa y casi completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente no biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos [Cantanhede, 1994]

En 1971, se crea en Lima (Perú) la Empresa de Servicios Municipales de Limpieza de Lima, la cual es la encargada de efectuar la búsqueda, en principio, de los lugares apropiados de disposición final y la encargada directa del procesamiento sanitario de las basuras de la ciudad capital y sus 42 distritos. La producción general, bordea las 4,000 toneladas por día, pero por lo regular solo se procesa sanitariamente un 60 %, lo que quiere decir unas 2400 toneladas diarias. Existen también, otros Rellenos Sanitarios controlados, en las capitales de Departamento del interior del país, los cuales, de acuerdo al índice poblacional, procesan un promedio de entre 50 y 400 toneladas diarias [Lafosse et al., 1996]

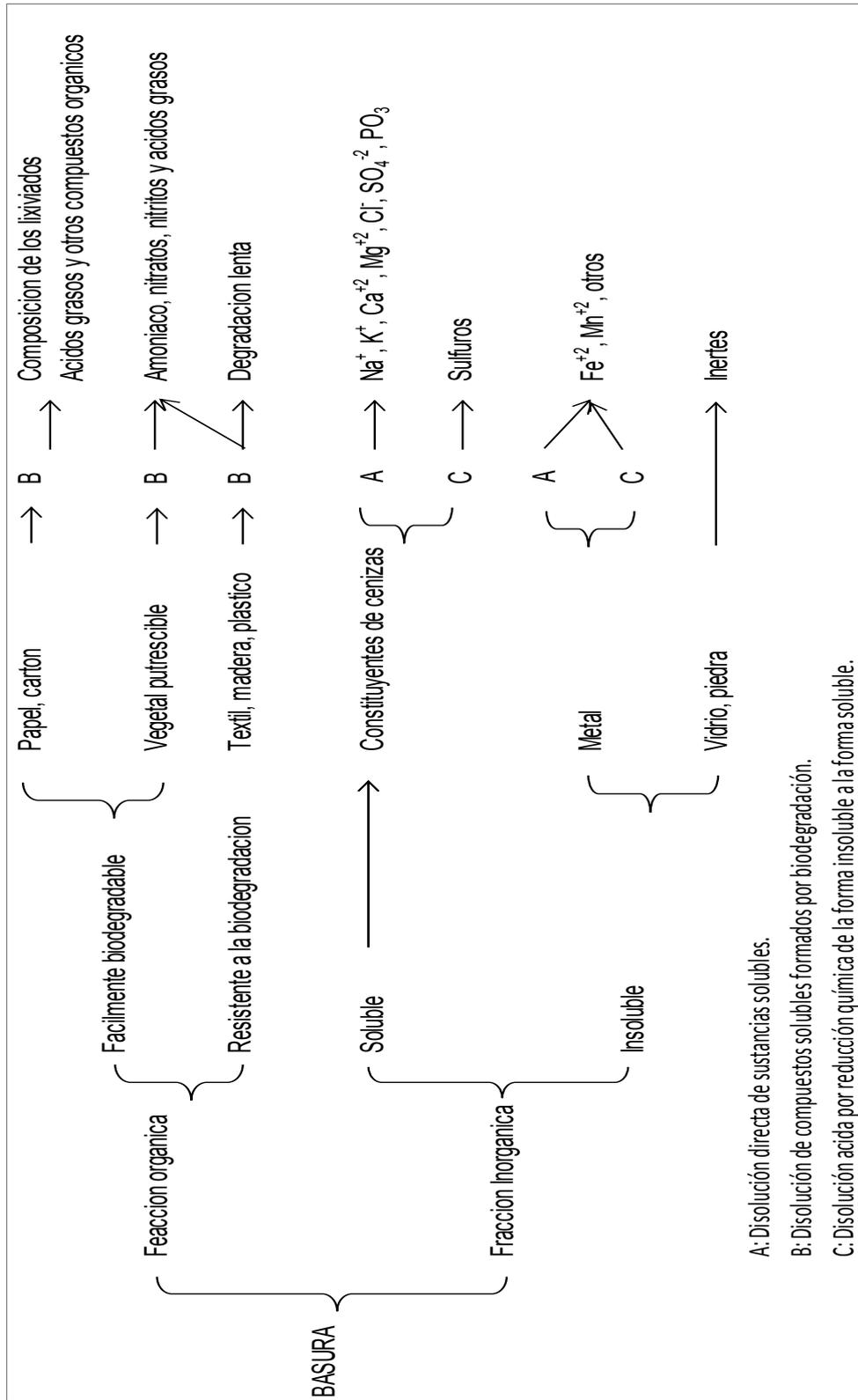
3.2. Lixiviado

Los lixiviados se definen como el efluente acuoso que se genera como consecuencia de la infiltración agua de lluvia a través de los residuos de basura orgánica, de los procesos bioquímicos en las células de los residuos y del contenido de agua de los desechos inherentes a ellos mismos. Los lixiviados se caracterizan por ser líquidos de un color muy oscuro, mal olor y altas cargas contaminantes, son difíciles de tratar y más cuando se trata de lixiviados viejos o parcialmente estabilizados, pues poseen compuestos recalcitrantes que son difíciles de degradar [Monje et al., 2004].

3.2.1. Calidad de los lixiviados

La calidad de los lixiviados en un relleno sanitario varía grandemente en el tiempo, al igual que con el tipo de relleno sanitario que se tenga. De manera resumida se puede decir que los lixiviados de los rellenos sanitarios presentan concentraciones de DBO, amoníaco, metales y sustancias precipitables. Estas concentraciones tienen importantes implicaciones para la operatividad y el rendimiento de los procesos de tratamiento, y debe tenerse cautela cuando se busque hacer la adaptación de las tecnologías a los casos locales. Las diferencias se originan principalmente en los altos contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable (MOFBD), que se tiene en los residuos sólidos en los países en desarrollo. La MOFBD tiene un contenido de humedad alto, y como su nombre lo indica se degrada rápidamente en el relleno sanitario, produciendo a su vez altas concentraciones de ácidos grasos volátiles y de amoníaco, producto de la fermentación inicial. A su vez, estos ácidos se diluyen fácilmente en el lixiviado del relleno sanitario, le bajan el pH y contribuyen a la solubilización de los metales presentes en los residuos dispuestos en el relleno.

Figura 1. Composición de lixiviados [LUTFI, 2003]



Los lixiviados de las áreas de los rellenos sanitarios que han sido recientemente rellenadas producen un lixiviado altamente contaminante, denominado lixiviado joven. A partir de ese momento, las concentraciones de las sustancias en el lixiviado de una cantidad de basura en el relleno sanitario disminuyen continuamente en el tiempo, esto ocurre como regla general, más sin embargo, en algunos casos como metales que presentan reacciones de óxido-reducción, puede ocurrir que la concentración al inicio del proceso de lixiviación no sea la mayor. Sin embargo, teniendo en cuenta que un relleno sanitario se opera por lustros o décadas, siempre va a haber una parte del relleno que aporta lixiviado joven, la que se está rellenando en ese momento, mientras que otras partes del relleno tienen lixiviado maduro, las que tienen unos años, y otras lixiviado viejo, las que tienen más de cinco años. En la Tabla 1 se resume las principales características de los lixiviados jóvenes y viejos en un relleno sanitario.

Tabla 1. Comparación de características típicas de los lixiviados de relleno sanitario.

CARACTERÍSTICA	LIXIVIADO JOVEN	LIXIVIADO VIEJO
DBO	Muy Altos	Bajo
DQO	Muy Altos	Alto
Amoniaco	Muy Altos	Alto
Fósforo	Usualmente deficiente ⁽¹⁾	Suficiente
pH	Muy bajo	Bajo
Detergentes	Muy Altos	Bajos
Sales Disueltas	Muy Altas	Bajas (relativamente)
Agentes Incrustantes (Fe, Ca, Mg)	Muy Altos	Bajos
Metales Pesados	Muy Altos	Bajos

⁽¹⁾Deficiente desde el punto de vista de un tratamiento biológico aerobio

Fuente: [Giraldo, 1997]

Como se puede observar por las características de la Tabla 1 el tipo de problema del tratamiento que se enfrenta con un lixiviado joven y uno viejo es muy diferente. Para empezar, las concentraciones de todos los parámetros son

mucho mayores en un lixiviado joven que en un lixiviado viejo. Por ejemplo, la relación DBO/DQO para un lixiviado joven es alta, indicando una buena biodegradabilidad, mientras que para un lixiviado viejo es baja indicando una pobre biodegradabilidad de la materia orgánica. Las concentraciones de sales disueltas, y metales pesados son mucho mayores en un lixiviado joven, generando problemas de toxicidad en el caso de que se quieran utilizar procesos biológicos para la remoción de la DBO. Por otra parte, las concentraciones de agentes incrustantes como el hierro, el calcio y el magnesio, generan grandes problemas prácticos pues taponan la mayoría de los conductos, tuberías, accesorios, válvulas, membranas, tanques etc. en donde el lixiviado entra en contacto con el sistema de conducción y de tratamiento. El atascamiento de los sistemas de drenaje, de conducción y de tratamiento de los lixiviados es siempre un problema práctico de gran significancia en los rellenos sanitarios. El bajo pH a su vez puede interferir con el funcionamiento de numerosas tecnologías que se proponen, por ejemplo, la volatilización del amoníaco, para la cual se requieren pH básicos, o con algunos procesos biológicos como la nitrificación, o químicos como la oxidación del hierro. De igual manera, la remoción de la DBO se ve afectada por la toxicidad que generan los metales, pero a su vez, la remoción de metales, incluyendo aquellos incrustantes como el hierro, se ve interferida por la presencia de la DBO que sirve como agente acomplejante que mantiene los metales en solución dificultando y limitando severamente su remoción. Entonces, los metales afectan la remoción de la DBO, y la presencia de DBO la remoción de los metales, sin dejar en claro por dónde empezar a tratar.

La alta presencia de detergentes, por otra parte, presenta problemas prácticos importantes a la hora de utilizar procesos biológicos. Si se utilizan procesos aerobios, en donde es necesario introducir aire al agua por medio de sistemas de inyección, la formación de espumas en los tanques de aireación genera problemas operativos difíciles de manejar. En el caso de sistemas anaerobios, en donde se produce biogás en gran cantidad, igualmente se pueden formar espumas que interfieren con el funcionamiento normal del proceso.

Por lo indicado líneas arriba los lixiviados presentan numerosos problemas que deben tenerse en cuenta al momento de seleccionar la tecnología de tratamiento.

3.2.2. Clasificación de los lixiviados

Los lixiviados se pueden clasificar de diversas formas algunos toman en consideración el tipo de residuos y su peligrosidad, y otros la edad del relleno. En la mayoría de casos para residuos municipales los lixiviados jóvenes son más biodegradables que los viejos ya que estos por estar a mayor tiempo enterrados tendrán una mayor estabilización. Muchos autores entre ellos Tchobanogous G. clasifican los lixiviados por su grado de biodegradabilidad

- Lixiviados biodegradables ($DBO/DQO > 0.3$)
- Lixiviados Maduros ($DBO/DQO 0.1-0.3$)
- Lixiviados Estabilizados ($DBO/DQO < 0.1$)

En estudios como los de Rihm (1994) y Kjeldsen (1996), se entrega una clasificación de los lixiviados en función de su estado de estabilización, encontrándose los siguientes tipos:

- Lixiviados jóvenes con alta carga orgánica, valores de DQO mayores a 20000 mg/l, alto contenido de metales (hasta 2000 mg/l) y biodegradabilidad media ($DBO_5 / DQO > 0.65$),
- Lixiviados estabilizados con baja carga orgánica, valores de DQO menores a 20000 mg/l, bajo contenido de metales (menos de 50 mg/l) y biodegradabilidad muy débil ($DBO_5 / DQO > 0.1$),

3.2.3. Generación y factores que intervienen en su producción

Según la guía para el Diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios Manuales podemos obtener lo siguiente:

3.2.3.1 Generación

Los lixiviados son de dos orígenes principales y se generan en el área del relleno:

- Lixiviado producto del líquido o humedad propia de los residuos (humedad intersticial por los diversos tratamientos o bien generado por descomposición de materia orgánica presente.
- Lixiviado producto de fuentes externas, principalmente la lluvia.

3.2.3.2 Cálculo de la generación de lixiviado

La cantidad de lixiviado puede determinarse según el grado de compactación del relleno:

- Rellenos compactados con compactadores: 25% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente 5 m³/ha/d para el caso de 750 mm de precipitación anual).
- Rellenos compactos con orugas: 40% de la tasa de precipitación anual (aproximadamente 9 m³/ha/d para el caso de 750 mm de precipitación anual)

Una manera rápida y sencilla para determinar el caudal de lixiviado es mediante el método suizo mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} * P * A * K \quad [1]$$

Q = Caudal medio de lixiviado (l/s)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000 s/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

- Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.
- Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Fuente: [CEPIS, 2002]

3.2.3.3 Factores que intervienen

El volumen de lixiviado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSM.
- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la escorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno. Debido a las diferentes condiciones de operación y localización de cada relleno, las tasas esperadas pueden variar; de ahí que deban ser calculadas para cada caso en particular.

Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido. [CEPIS, 2002]

3.2.4. Recirculación de lixiviado

La recirculación de los lixiviados es una de las muchas técnicas utilizadas para manejar los lixiviados de los rellenos sanitarios. Debido a las características de los lixiviados de rellenos sanitarios municipal, el principal objetivo de control es evitar la dispersión incontrolada. Los lixiviados siempre deben ser recogidos, tratados o contenidos antes de ser liberados al medio ambiente. Durante la recirculación de lixiviados, el lixiviado es devuelto al relleno sanitario para reinfiltrarse en los residuos sólidos municipales. Esto se considera un método de control de lixiviados, ya que el lixiviado continúa fluyendo a través del relleno sanitario que se trata a través de procesos biológicos, precipitación y absorción. Este proceso también se beneficia del vertedero, aumentando el contenido de humedad que a su vez aumenta la tasa de degradación biológica, estabilidad biológica y la tasa de recuperación de metano en el relleno sanitario. [Fellin et al., 1996]

Existen numerosas ventajas para el tratamiento de los lixiviados a través de la recirculación, y los beneficios de productividad como vertedero de lixiviados que se esté tratando:

- Los rellenos sanitarios que utilizan la recirculación de lixiviados experimentan una disminución en la concentración de los lixiviados en comparación con los vertederos sin tratamiento de recirculación. Esto reduce la cantidad de tratamiento de lixiviados que se necesita y por lo tanto, los costos se reducen también.
- El aumento del contenido de humedad de los residuos sólidos mejora las condiciones del sistema para la descomposición biológica de materia orgánica en el vertedero.
- La materia orgánica en el lixiviado, que requiere tratamiento fuera del relleno sanitario, recibe un tratamiento adicional cada vez que se recircula a través del relleno sanitario. Esto reduce los costos de tratamiento del relleno sanitario.
- El entorno de reducción en el vertedero elimina sustancias inorgánicas en el lixiviado a través de la precipitación y absorción.
- En la recirculación de lixiviados se estabiliza el sistema biológico en el relleno sanitario, lo que reduce las amenazas ambientales y reduce la cantidad de vigilancia después del cierre. También ofrece la oportunidad de explotación minera del terraplén y de recuperación de espacio.
- La recirculación de lixiviados aumenta la velocidad a la que los residuos se descomponen y esto mejora la tasa de producción de metano. Esto hace que la generación del metano sea mucho más fácil y así obtener energía.
- La recirculación de lixiviados es un método de gestión de lixiviados, que es relativamente simple y barato.

Las desventajas de la recirculación de los lixiviados son los siguientes:

- Debido a que los vertederos son heterogéneos los lixiviados pueden encontrar canales discretos para viajar a través de ellos. Esto hace que sea difícil asegurar que el lixiviado se hace reaccionar con todos los residuos y se trata a fondo.
- El riesgo de exposición al medio ambiente cuando los lixiviados se aplica a la superficie de un relleno sanitario.
- La falta de información y educación sobre el tema aumenta las posibilidades de que sea mal aplicada.

3.2.5. Sustancias peligrosas

Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados en donde se hace énfasis de su alto poder contaminante. Se concluye usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, presencia de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. Estas características son importantes en cuanto nos indican qué es lo que toca removerle a los lixiviados durante su tratamiento, sin embargo, desde el punto de vista de la selección de la tecnología existen otras características que, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los procesos de tratamiento.

Se puede esperar la presencia de un amplio número de compuestos peligrosos en los lixiviados de los rellenos sanitarios, mucho de los cuales todavía no han sido identificados.

Tabla 2. Valores generales para los parámetros físico-químicos de lixiviados de relleno sanitario.

Parámetro	Rango de Valores
pH	4.5-7.5
conductividad (mS/cm)	5-50
DBO ₅ (mg/l)	2000-30000
DQO (mg/l)	3000-60000
Sólidos en suspensión (mg/l)	200-2000
Nitrógeno orgánico (mg/l N)	10-800
Nitrógeno amoniacal (mg/l NH ₃)	10-800
Fosforo total (mg/l P)	5-100
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	1000-10000
Dureza total (mg/l CaCO ₃)	300-10000
Calcio (mg/l Ca ²⁺)	200-3000
sulfatos (mg/l SO ₄ ²⁻)	50-1000
Hierro total (mg/Fe)	50-1200

Fuente: [Motiel et al., 2012]

3.2.6. Problemas asociados en la generación de lixiviados

Uno de los principales problemas en los rellenos sanitarios es la descarga de lixiviados. El movimiento que realiza el lixiviado en los límites del terreno en el nivel freático o en las fuentes de aguas superficiales, causa considerables problemas de contaminación.

Un aspecto previsor de contaminación por lixiviados es la prevención de su producción. Aunque es la calidad del lixiviado la que causa la contaminación, su cantidad es más controlable. Lo deseable es la no existencia de este, pero en la práctica el agua emigra del relleno sanitario y se forma algo de lixiviado incluso en lugares cuidadosamente elegidos, por lo que las medidas de control y previsión deben ser efectuadas antes y durante el vertido.

Tabla 3. Cuadro comparativo de las principales tecnologías existentes en el tratamiento de lixiviados.

Item / Problemas con	Tecnología						
	Aerobio	Anaerobio	Evaporación	Recirculación	Membranas	Sistemas Naturales	Tratamiento en PTAR
Formación de Precipitados.	++	+++	+	++	+++	+	No
Toxicidad a los microorganismos.	++	++	No	No	No ⁽¹⁾	+	Potencial
Formación de espumas.	+++	+	++	+(1)	Variable ⁽²⁾	No	Baja
Emisión de COV	+++	+	++	+	Variable ⁽²⁾	+	Baja
Sensibilidad a variaciones de caudal	++	++	+	+	+	No	No
Producción y manejo de lodos	+++	+	+	No	+		No
Requerimientos de área	Baja	Baja	Muy baja	Baja	Baja	Alta	No

(1) Pueden formarse en los tanques de almacenamiento

(2) Si los sistemas son aerobios, la problemática puede ser alta.

(+)Una cruz significa como afecta negativamente la característica al proceso en cuestión.

Entre más cruces más negativamente lo afecta.

Fuente: [Giraldo, 1997]

3.3. Relleno sanitario de ancón

3.3.1. Ubicación

Para el desarrollo de la investigación se recolecto lixiviado proveniente del Relleno Sanitario de Ancón; el cual, está administrado y operada por la empresa CASREN EIRL, este relleno es de operación mecanizada y recibe los residuos sólidos generados por los distritos del cono norte de la ciudad de Lima. Un

aproximado de 1000 toneladas de residuos sólidos ingresa al relleno sanitario diariamente.

El Relleno Sanitario de Ancón se encuentra en el kilómetro 45.5 de la Panamericana Norte en el sector Norte del distrito de Ancón, provincia y departamento de Lima. Geográficamente se localiza entre las coordenadas UTM 8698700-8699500 N y 265200-266500E. a 50 m.s.n.m.



Figura 2. Vista Satelital del Relleno Sanitario de Ancón.



Figura 3. Ingreso al Relleno Sanitario de Ancón.

3.3.2. Vías de acceso

El área del Relleno, respecto a la ciudad de Lima cuenta con las siguientes vías de acceso cuyas características se presentan en la Tabla 4:

Tabla 4. Accesibilidad al relleno sanitario de estudio

TIPO DE VIA	LONGITUD (Km)	DE	A	ESTADO DE CONSERVACION
Asfaltado	45,50	Lima	Km 45,50 C. Panamericana Norte	BUENA
Vía afirmada	00,60	Km 45,50	2º frente de trabajo	BUENA
Vía proyectada	00,65	2º frente de trabajo	Primera Plataforma	BUENA

Fuente: Relleno Sanitario de Ancón.

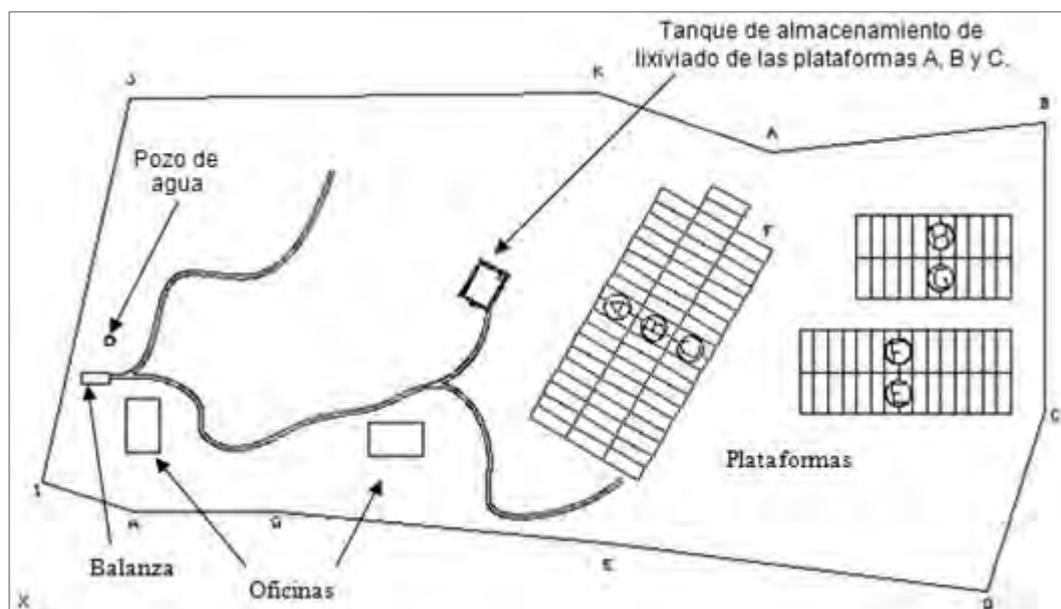


Figura 4. Esquema del Relleno Sanitario de Ancón.

3.3.3. Hidrogeología

El área donde se encuentra el Relleno Sanitario de Ancón corresponde a una microcuenca bordeada por lomas y dunas de arena. Las lomas se encuentran tanto al Nor-Este como al Sur-Oeste del área. Estas cubren un gran sector de los bordes inferior y superior de las áreas donde se ubica tanto la primera como la segunda fase del Relleno Sanitario.

El fondo de dicha microcuenca corresponde a una zona de material ya consolidado de gran profundidad. En esta área se aprecian tres capas de materiales: la capa superior de material cuaternario eólico arenoso se va profundizando hacia el Sur-Este del área, la capa intermedia de material arenoso limoso con mayor grado de compactación y la capa inferior o basamento rocoso de origen sedimentario.

El nivel freático, según el estudio de impacto ambiental del proyecto, indica que se realizaron 3 sondajes eléctricos verticales (SEV), no encontrando indicios de agua en el subsuelo, porque corresponde a una micro-cuenca cercana.

3.3.4. Topografía

La topografía del área del relleno sanitario es plana a moderada y ligeramente accidentada en el flanco de los cerros circundantes, las pendientes en la primera etapa son del orden de 1 a 1,50% y en la segunda etapa es de 25 a 35%. El material de relleno es propio de la zona y corresponde a una mezcla de arcilla y arena con un coeficiente de permeabilidad aceptable. Se han realizado sondeos para la detección de acuíferos con resultados negativos hasta profundidades de 150m donde se encuentra la roca madre o capa impermeable. Sin embargo, existe un pozo de 60 m. de profundidad a la entrada del Relleno (a unos 300m. de las plataformas) aparentemente producto de la infiltración del mar debido a la alta concentración de cloruros.

3.3.5. Información sobre vertimiento de residuos sólidos y líquidos.

El vertimiento de residuos sólidos se hace como parte de la operación del relleno sanitario en las plataformas.

En cuanto a los residuos líquidos o lixiviados, las celdas son habilitadas previamente con drenes internos y externos para la recolección de los lixiviados en un tanque de concreto; además se dejan las bases de las chimeneas que se concluirán una vez la celda alcance su altura promedio. Diariamente un equipo de bombeo llena el camión cisterna, el cual recircula el lixiviado por las plataformas en operación. A esta área le corresponde un clima desértico y húmedo con lloviznas bajas entre abril y diciembre y sol intenso entre enero y

marzo. La temperatura promedio es de 18-19°C. Su clasificación ecológica corresponde a un desierto subtropical.

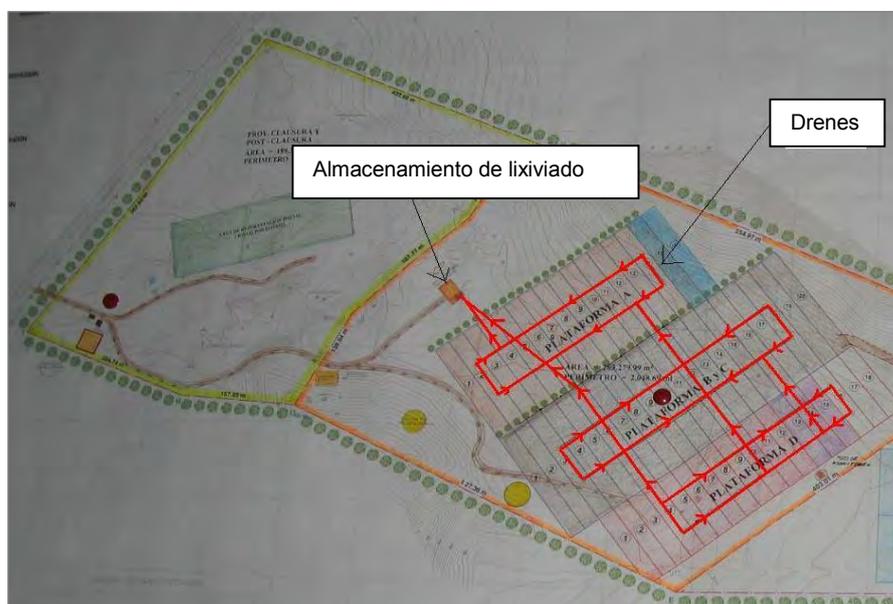


Figura 5. Esquema de recolección y almacenamiento de lixiviado

3.4. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo de residencia del líquido debe ser suficiente para permitir un tiempo de contacto adecuado entre el material orgánico disuelto y los microorganismos. Los sistemas de lodos activados presentan tiempos de residencia hidráulicos entre 8 y 48 horas para una remoción de DBO₅: 70-97%.

El tiempo medio de retención hidráulica del sistema se define como:

$$\tau = \frac{V_t}{Q} = \frac{V_r + V_s}{Q} \quad [2]$$

Dónde:

$V_t =$ Volumen del reactor + volumen del tanque de sedimentación.

$Q =$ Caudal del Afluente.

$V_r =$ Volumen del Reactor.

$V_s =$ Volumen del Tanque de Sedimentación.

CAPITULO 4

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1. Tratamiento biológico

Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con menores costes económicos y mantenimiento, y a su vez destruyen completamente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas como el dióxido de carbono, el metano, el nitrógeno molecular, y el agua. La mineralización de compuestos contaminantes mediante microorganismos es, por tanto, un proceso destructivo completo. [Daphne, 1994].

Los costos de inversión de los procesos biológicos son del orden de 5 a 20 veces menores que los químicos. A su vez, los costes de tratamiento son de 3 a 10 veces menores. [Marco et al., 1997]

Los tratamientos biológicos estarán limitados cuando los influentes a tratar contengan moléculas xenobióticas, inhibitorias, o tóxicas para el cultivo biológico. El enriquecimiento en cultivos específicos o aclimatados y los tratamientos integrados son algunas de las estrategias posibles en estos casos. [Scott et al., 1995].

Los tratamientos biológicos de aguas residuales se basan en el empleo de microorganismos, fundamentalmente bacterias, para la depuración de las mismas. En los reactores biológicos deben mantenerse las condiciones ambientales para permitir el desarrollo óptimo de la biocenosis. Según sea el tipo de compuesto a eliminar, podemos distinguir tratamientos biológicos que eliminan compuestos carbonados, compuestos nitrogenados o fósforo.

Los procesos de tratamiento biológico se pueden dividir según el estado en que se encuentren las bacterias responsables de la degradación. Si la biomasa bacteriana está sobre superficies inertes tales como roca, escoria, material cerámico o plástico, se habla de lecho fijo, o puede estar suspendida en el agua a tratar (biomasa suspendida). En cada una de estas situaciones, la concentración de oxígeno en el agua determina la existencia de bacterias aeróbicas, facultativas (pueden adaptarse para crecer y metabolizar tanto en presencia como en ausencia de oxígeno) o anaeróbicas.

Los objetivos del tratamiento biológico son tres:

- Reducir el contenido en materia orgánica de las aguas.
- Reducir su contenido en nutrientes.
- Eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.

4.2. Procesos aerobios

Los procesos aerobios al igual que los anaerobios han sido ampliamente estudiados para el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios. Existe experiencia con una gran variedad de tipos de sistemas, desde las tradicionales lagunas aireadas, hasta sofisticados sistemas que acoplan reactores biológicos con procesos de ultrafiltración con membranas. Su rango de aplicación es conocido al igual que los problemas y limitaciones que pueden surgir en su aplicación. Se utilizan cuando se requiere obtener una baja concentración de DBO en los efluentes. Vale la pena aclarar que como usualmente las concentraciones de DBO en los lixiviados son muy altas es relativamente fácil tener remociones porcentuales superiores al 90% en este parámetro. Sin embargo la DBO remanente puede ser todavía alta. Los costos de inversión y de

operación y mantenimiento son significativamente superiores a los de los procesos anaerobios cuando los lixiviados son concentrados, como es el caso de un lixiviado joven, por lo que se logran mejores relaciones beneficio / costo cuando se utilizan para tratar lixiviados con concentraciones medias o bajas de DBO. Por esta razón, y dependiendo de las exigencias del vertimiento, se usan preferencialmente como pos tratamiento a los sistemas anaerobios, o para lixiviados viejos con bajos niveles de DBO.

En los reportes operativos se mencionan problemas con la generación de espumas, con la precipitación de hierro, y en el caso de los lodos activados, problemas para aceptar altas variaciones en las cargas hidráulicas y orgánicas que caracterizan a los lixiviados, como ya se ha mencionado anteriormente. Esto último puede implicar que los sistemas requieran tanques de ecualización de caudales como parte del tratamiento. Igualmente, y dependiendo de la forma de operación del proceso, se tiene una alta generación de lodos residuales, en mayor cantidad que los procesos anaerobios, que es necesario procesar aumentando los costos de inversión y de operación y mantenimiento. Por la naturaleza misma del proceso que se tiene, la operación de un proceso aerobio requiere mayor capacidad técnica por parte del operador, al igual que mayor necesidad de mantenimiento de equipos.

4.3. Tratamiento por lodos activados

4.3.1. Descripción del proceso

El proceso de los lodos activados para el tratamiento de aguas residuales está basado en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas residuales y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar materia orgánica. Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto con las aguas residuales, los

materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez. Es necesario un control de operación muy elevado para asegurar que se tenga una fuente suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas residuales y de los lodos, y que la relación de volumen de los lodos activados agregados al volumen de aguas residuales que están bajo tratamiento se mantenga prácticamente constante.

La mezcla o agitación se efectúa por medios mecánicos superficiales o sopladores sumergidos, los cuales tiene doble función 1) producir mezcla completa y 2) agregar oxígeno al medio para que el proceso se desarrolle.

Básicamente, la comunidad de los lodos activados puede ser muy variable y depende de:

- Naturaleza del suministro alimenticio.
- Concentración de alimento.
- Turbulencia.
- Temperatura.
- Tiempo de aireación.
- Concentración de lodos.

En el proceso de lodos activados se presentan factores que afectan al proceso como por ejemplo: tipo de reactor, tiempo de retención hidráulica, carga hidráulica, carga orgánica, capacidad de aireación, tiempo medio de retención celular, relación alimento/microorganismo, relación de recirculación de Lodo, nutrientes y factores ambientales. [metcalf & eddy, 1996].

4.3.2. Elementos básicos de las instalaciones del proceso.

- Tanque de aireación. Estructura donde el agua residual y los microorganismos (incluyendo retorno de los lodos activados) son mezclados.
- Tanque sedimentador secundario. El agua residual mezclado procedente del tanque es sedimentado separando los sólidos suspendidos (lodos activados), obteniéndose un agua residual tratado clarificado.
- Equipo de inyección de oxígeno. Para activar las bacterias heterotróficas.
- Sistema de retorno de lodos. El propósito de este sistema es el de mantener una alta concentración de microorganismos en el tanque de aireación.
- Una gran parte de sólidos biológicos Sedimentables son retornados al tanque de aireación.
- Exceso de lodos y su disposición. El exceso de lodos, debido al crecimiento bacteriano en el tanque de aireación, son eliminados, tratados y dispuestos.

4.3.3. Parámetros del proceso de lodos activados

4.3.3.1 Parámetros operacionales

Carga Orgánica: Es la relación entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico al día y la masa de microorganismos existentes en el mismo. Tiene una relación directa con el rendimiento de depuración que puede dar la planta. Se expresa como:

$$CM = CO = \frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X} \text{ (kg DBO}_5\text{/kg MLVSS día)} \quad [3]$$

Dónde:

- Q = Caudal.
 S₀ = DBO₅ de entrada.
 V = Volumen.
 X = Sólidos Suspendingos Volátiles en el Licor Mezcla.

Edad del Lodo: Es la relación entre la masa de lodos existentes en la zona de aireación y la masa de lodos purgados por unidad de tiempo, días normalmente. Según la edad de lodo tendremos un cultivo más o menos estable con mayor o menor capacidad para degradar la DBO. Cada operador debe encontrar la edad de lodo adecuada para su planta en concreto dentro de unos rangos que están relacionados con la carga másica. Se expresa:

$$E = \frac{V \cdot X}{Q_p \cdot X_p} \text{ (días)} \quad [4]$$

Dónde:

- Q_p = Caudal.
 X_p = Sólidos en Suspensión Volátiles del lodo purgados o lodo en exceso.

Carga Orgánica Volumétrica: Es la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor, por unidad de tiempo y el volumen de la cuba. Se expresa como:

$$COV = \frac{Q \cdot S_0}{V} \text{ (kg DBO}_5\text{/m}^3\text{ día)} \quad [5]$$

Rendimiento en la Depuración: Es la relación entre la masa de la materia orgánica eliminada y la del influente que entra en el reactor biológico. Se expresa en porcentaje de eliminación:

$$R = S_0 - S / S_0 (\%)$$

S = DBO₅ del efluente del decantador secundario.

4.3.3.2 Parámetros de control

El control se basa en la evaluación y actuación sobre determinados factores relacionados entre sí:

Tabla 5. Parámetros de control para una operación efectiva.

Parámetros de control	Cantidad de sólidos suspendidos que hay que mantener en el proceso respecto a la carga orgánica entrante.
	Mantener buenas propiedades de sedimentación.
	Tiempo de permanencia del lodo activado en el sedimentador secundario.
	Suministrar el aire adecuado al tanque de aireación.
	Caudal de recirculación de lodo.
	Remover el lodo del sedimentador secundario en tiempo y cantidad adecuada.
	Características del afluente.
	Calidad exigida al efluente.

4.3.4. Tipos de lodos activados

4.3.4.1 De mezcla completa

Este proceso consiste básicamente en una mezcla completa de bacterias y agua residual en un tanque de aireación de micro burbuja. A medida que la población de microorganismos aumenta, se agrupan y forman flóculos para producir una masa activa llamada lodo activado que sedimentara en la unidad subsiguiente del sistema.

En este tipo de tratamiento es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico de 3 a 5 horas; muestra particular resistencia a los choques y sobrecargas. Este proceso se realiza en tanques en forma simétrica; en cualquier punto del estanque, hay igual proporción de líquidos y lodos e igual DBO.

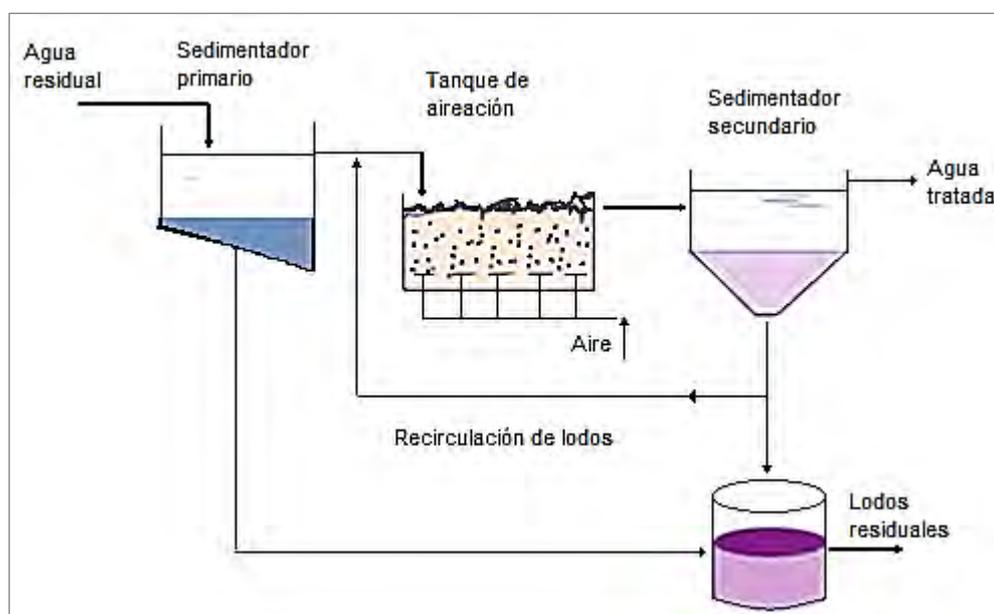


Figura 6. Diagrama de flujo de lodos activados convencional [Romero, 2005]

4.3.4.2 De aireación prolongada

El proceso de lodos activados de aireación prolongada opera con mezcla completa y requiere los organismos en la fase endógena de crecimiento; por ello se necesita una relación A/M baja, concentración de SSVLM alta y tiempo de aireación largo. Generalmente es aplicada a plantas de tratamiento pequeñas para caudales menores de 400 m³/d. Es el proceso más usado para plantas compactas prefabricadas que provean tratamiento para pequeñas comunidades, instituciones aisladas, escuelas, hoteles, etc. La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional de lodos activados, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esta disminución se consigue aumentando el tiempo de residencia; de esta forma el volumen de reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activados. [Ramalho, 1996].

El tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este período de aireación permite que las aguas residuales y el lodo degradable sean parcialmente digeridos en el tanque aireador, permitiendo su disposición sin ser necesaria una gran capacidad de digestión. Es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre el 90% y 95% para un tiempo de retención hidráulico superior a 8 horas. [Romero, 2005]

CAPITULO 5

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

5.1. Ubicación de la planta a escala piloto.

Considerando los objetivos establecidos, la investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Facultad de Ingeniería Ambiental - Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI), la cual se encuentra ubicada en la Av. Túpac Amaru S/N en el distrito del Rímac, departamento de Lima, Perú.



Figura 7. Ubicación del Sistema de Lodos Activados en las instalaciones de CITRAR-UNI.

En la Figura 7, se puede apreciar la ubicación vista de planta, del sistema de tratamiento utilizando la tecnología de lodos activados de aireación prolongada a escala piloto dentro de la planta piloto de la UNI y sus instalaciones.

5.2. Descripción general del sistema

Para el desarrollo de la investigación se ha construido un sistema de tratamiento utilizando la tecnología de lodos activados de aireación prolongada.

El sistema de tratamiento a escala piloto se realizó haciendo uso de la tecnología de lodos activados con aireación prolongada, el cual trató el lixiviado de Relleno Sanitario Municipal a diferentes diluciones en volumen con agua residual doméstica.

El sistema a escala piloto está compuesto por unidades dispuestas en serie. Dichas unidades están conformadas básicamente por: un tanque de homogenización, llaves de control, reguladores de caudal por rebose, tanque de recolección de rebose, dos reactores de lodos activados de aireación prolongada, dos compresoras de aire, dos zonas de sedimentación secundaria, un tanque de recolección de muestra y una bomba periférica de 1/2 hp.

El sistema de tratamiento estuvo conformado por dos reactores de lodos activados, el primer reactor (R1), realizó el proceso de tratamiento del sustrato sin la recirculación de lodos proveniente de la zona de sedimentación, mientras que el segundo reactor (R2), lo hizo con una recirculación de lodo proveniente de la zona de sedimentación.

En ambos reactores se inoculó lodo activado proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Manchay, debido al tipo de reactor propuesto en la investigación dicho inóculo debe ser aerobio. Asimismo, siguiendo las recomendaciones encontradas en Ramalho, 1996, se seleccionó una cantidad 60 litros de lodo para cada reactor equivalente a 3664 mg/L de SST y de 3100 mg/L de SSV.

La aireación en cada reactor fue proporcionada por dos compresoras de aire, mediante este proceso se varió la cantidad de oxígeno disuelto mediante una repartición de caudal en cada una de ellas para mantener en cada reactor un OD que sea favorable para la oxidación del sustrato y operación de cada uno de ellos.

Para la homogenización del afluente se usó agua residual proveniente de la misma captación de la Planta Piloto de Aguas Residuales de la UNI, la cual, pasa por un tratamiento preliminar de cribado, desarenador y tanque séptico; una vez transcurrido estos procesos se realizó una dilución Agua Residual – lixiviado en proporción de volúmenes y así generar el sustrato que fue materia de nuestra investigación.

Una vez establecido el sistema se procedió a realizar diversas comparaciones entre dichos reactores, con la finalidad de encontrar que reactor obtendrá mejores resultados en el tratamiento de lixiviado de Relleno Sanitario Municipal diluido con agua residual domestica a diferentes concentraciones.

Tabla 6. Parámetros iniciales en cada reactor.

	R1	R2
Vol. del reactor (m ³)	0.1856	0.1856
Vol. del sedimentador secundario (m ³)	0.1276	0.1276
Vol. de lodo inoculado (L)	60.00	60.00
Concentración de SST inoculado (mg/L)	3664.00	3664.00
Concentración de SSV inoculado (mg/L)	3100.00	3100.00

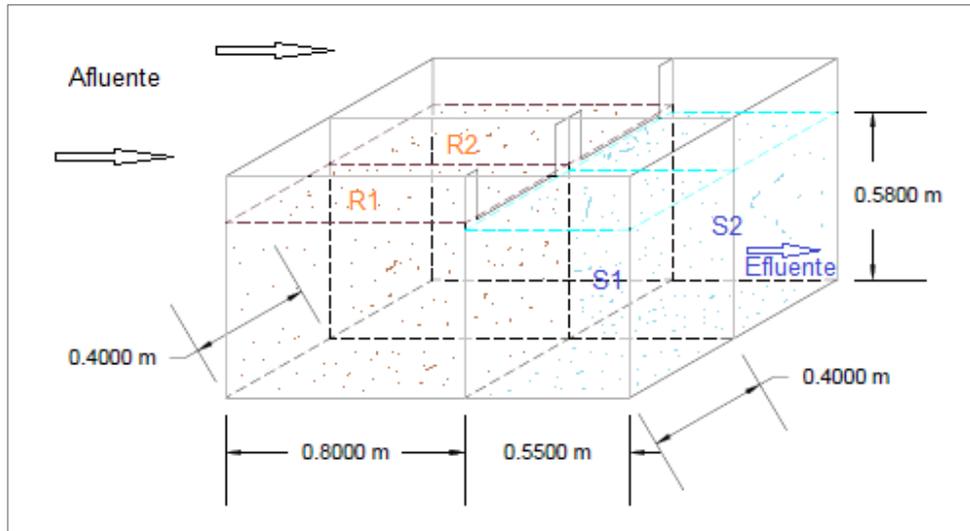


Figura 8. Dimensiones del Reactor R1 y Reactor R2.



Figura 9. Principales Componentes en la Planta a escala piloto.

Leyenda

1. Tanque de homogenización.
2. Dispositivo de regulación de Caudal.
3. R2: Reactor de Lodos Activados con recirculación de lodo.
4. R1: Reactor de Lodos Activados sin recirculación de lodo.
5. Sedimentador Secundario del Reactor N° 2.
6. Sedimentador Secundario del Reactor N° 1.
7. Tanque de Rebose.

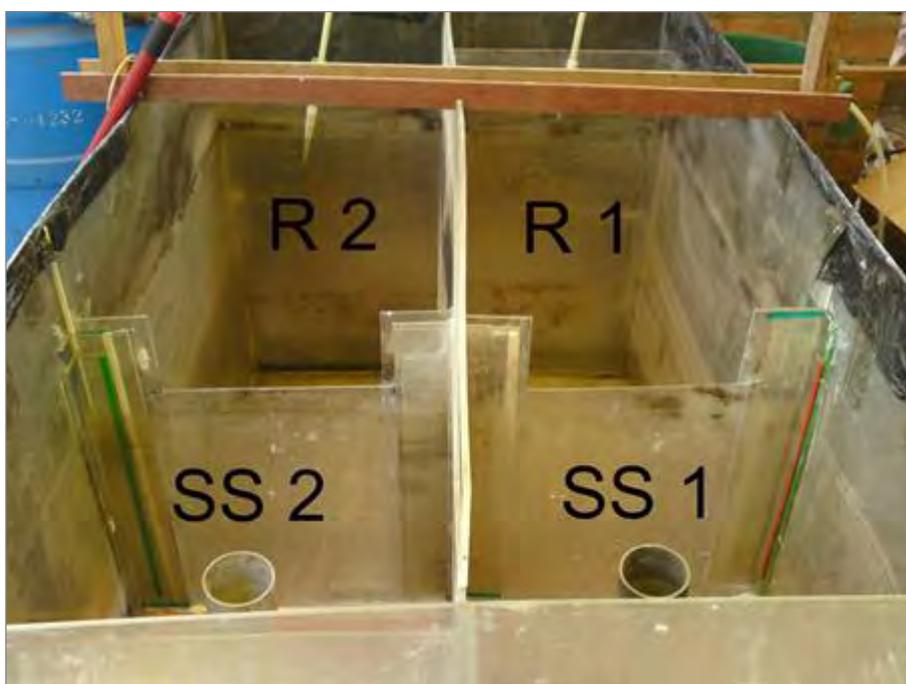


Figura 10. Vista de Planta de los Reactores de Lodos Activados

Leyenda

- R2: Reactor de Lodos Activados con recirculación de lodo.
R1: Reactor de Lodos Activados sin recirculación de lodo.
SS2: Sedimentador y recolección de Agua Clarificada.
SS1: Sedimentador y recolección de Agua Clarificada.

5.2.1. Sistema de captación.

La captación del agua residual para la investigación se dio en la caja repartidora de caudal a la entrada del wetland, la cual proviene del sedimentador primario, siendo direccionada al tanque de Homogenización con ayuda de una bomba periférica de $\frac{1}{2}$ hp para la posterior mezcla con el lixiviado de Relleno Sanitario Municipal.

Los materiales usados se detallan a continuación:

- Válvula de pie de $\frac{3}{4}$ ".
- Tubería de PVC de $\frac{3}{4}$ ".
- Tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- Codo de PVC de $\frac{3}{4}$ ".
- Codo de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- Bomba periférica de agua de $\frac{1}{2}$ hp.
- Niple roscado de $\frac{1}{2}$ "x1".
- Unión entre tubería de PVC y Manguera de $\frac{1}{2}$ ".
- Manguera de $\frac{1}{2}$ ".
- Pegamento.
- Cinta de Teflón.



(a)



(b)

Figura 11. Captación del Agua Residual para la dilución del Lixiviado.

En la Figura 11, en (a) se tiene el sistema de impulsión de agua residual doméstica y en (b) vista del funcionamiento del sistema de impulsión y caja de bombeo de agua residual.

5.2.2. Tanque de homogenización.

Cumplió dos funciones específicas, la primera fue almacenamiento del sustrato y la segunda fue de Tanque de dilución. La dilución se daba 2 veces por semana y cada 2 semanas se variaba el porcentaje de mezcla entre lixiviado y agua residual. Se procedió a realizar al tanque un mantenimiento cada mes, ver Figura 13, para evitar los sedimentos que se depositarían en el transcurso de la investigación. El rebose del afluente era almacenado en un cilindro de 220 litros para su posterior recirculación al tanque de homogenización. Las diluciones entre lixiviado y agua residual también se llevaron a cabo en 02 cilindros de 220 litros cada uno; el cual, era bombeado al tanque de homogenización.

La salida del sustrato se hizo por la parte inferior del tanque, luego pasaba a un sistema de regulación de caudal para el ingreso a cada uno de los reactores con un caudal de 100ml/min.

Los materiales usados se detallan a continuación:

- Tanque de Polietileno marca Rotoplas de 1100 litros.
- Reducción roscada de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ".
- Unión roscada de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- Tee de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- Tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- Válvulas de globo de PVC de $\frac{1}{2}$ ".
- Codo de PVC de $\frac{1}{2}$ ".

- Reducción de PVC de ½" a ¼"
- Pegamento.
- Cinta de Teflón.



Figura 12. Tanque de Polietileno de 1100 litros.



Figura 13. Mantenimiento del Tanque de Homogenización.

5.2.3. Dispositivo regulador de caudal.

De manera de caída libre a la salida del tanque se captaba el sustrato el cual llegaba a la unidad de reguladora de caudal, dicha unidad estaba compuesta por una botella pastica en forma de embudo y por medio de rebose y una válvula posterior al sistema regulaba el caudal manteniendo una altura hidráulica constante y en contacto con la atmosfera; así, se logró mantener el caudal a un valor de 100ml/min. Se probó otros sistemas pero no tuvieron éxito como el indicado por diversas condiciones hidráulicas.

Los materiales usados se detallan a continuación:

- Botella plástica de 500ml.
- Tubería de PVC de ½”.
- Tapón macho de ½”.
- Manguera de ½”.
- Válvula de control de ¼” de jardinería.
- Manguera de ¼”.
- Silicona.
- Pegamento.
- Cinta de Teflón.



Figura 14. Dispositivo Regulador de Caudal.

Leyenda:

1. Llave general de control.
2. Llave globo de PVC regulador de caudal a la salida del Tanque para R2.
3. Llave globo de PVC regulador de caudal a la salida del Tanque para R1.
4. regulador de Caudal mediante rebose para mantener la carga hidráulica constante R2.
5. regulador de Caudal mediante rebose para mantener la carga hidráulica constante R1.
6. Llave de jardinería para regular caudal a la entrada de R2.
7. Llave de jardinería para regular caudal a la entrada de R1.

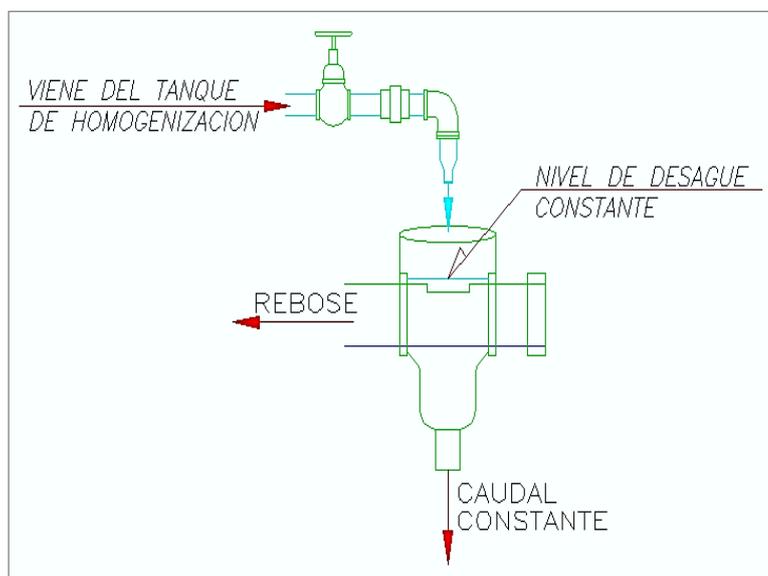


Figura 15. Vista de lateral del Dispositivo Regulador de Caudal.

En la Figura 15 se observa las instalaciones realizadas para generar el rebose y mantener un caudal constante al ingreso de cada reactor de la planta a escala piloto. Por los tubos perforados transversales se capta el diferencial de caudal a rebosar; el cual, se dirige al tanque de rebose.

5.2.4. Sistema de tratamiento secundario.

El sistema de tratamiento a escala piloto se realizó haciendo uso de la tecnología de lodos activados con aireación prolongada, el cual trató el lixiviado de Relleno

Sanitario Municipal a diferentes diluciones en volumen con agua residual doméstica.

En la Investigación se utilizó 02 reactores de acrílico en paralelo, denominados R1 y R2. Ambos reactores tenían las dimensiones de 0.80m de largo, 0.40m de ancho y una profundidad de 0.58m en la zona de aireación, y la zona de sedimentación secundaria tenía 0.55m de largo, 0.40m de ancho y una profundidad de 0.58m. De acuerdo a las dimensiones establecidas el tiempo de retención teórico para ambos reactores en la zona de aireación fue de 30.0 horas.

En la zona de aireación, para ambos casos, se construyó una red de aireación con tubería de PVC de 1/2" de diámetro y piedras difusoras de cerámica que proporcionaron el oxígeno disuelto en los reactores. Para la inyección de oxígeno en cada reactor se empleó compresoras de aire de la marca Resun del tipo ACO-003 con una potencia de 35 w y un caudal de 65 l/min. Mediante un repartidor de caudal de la misma compresora, se fue variando el caudal a suministrar en los reactores para obtener un OD favorable al proceso y así obtener resultados óptimos en el tratamiento biológico.

En la zona de sedimentación se construyó una rampa para la decantación del lodo generado en el proceso, dicha rampa ayudaría a la extracción de lodo para su disposición final en el caso del R1, y para la recirculación del mismo en el caso del R2. La recirculación y extracción de lodo se llevó a cabo haciendo uso de un sifón, manteniendo una frecuencia de extracción de 3 veces por semana, a una tasa promedio $q = 0.20\text{L/h}$ de retorno de lodo al R2.

El efluente en cada reactor fue captado mediante una reducción de 2" a 1/2" usada en forma de embudo en donde se acoplo una válvula de control de jardinería de 3/8" más una manguera para facilitar la recolección de muestra.

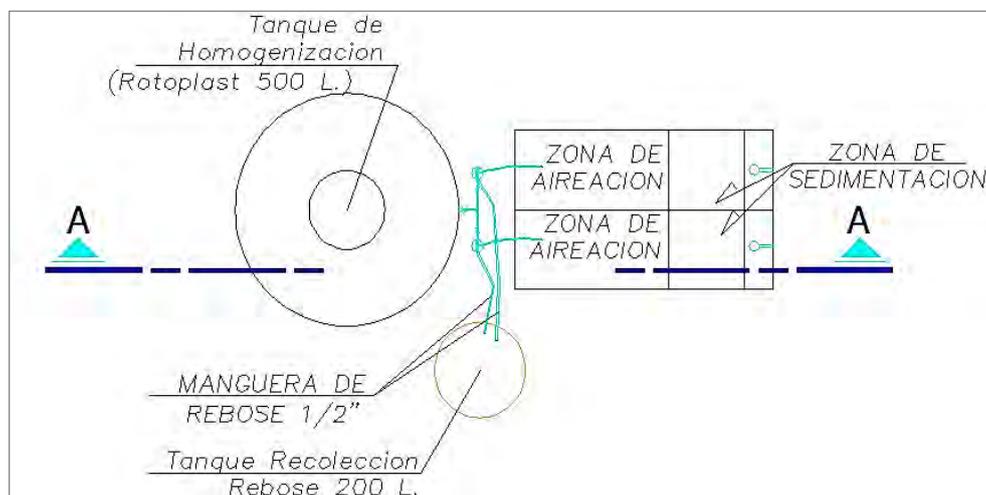


Figura 16. Esquema general de la planta a escala piloto.

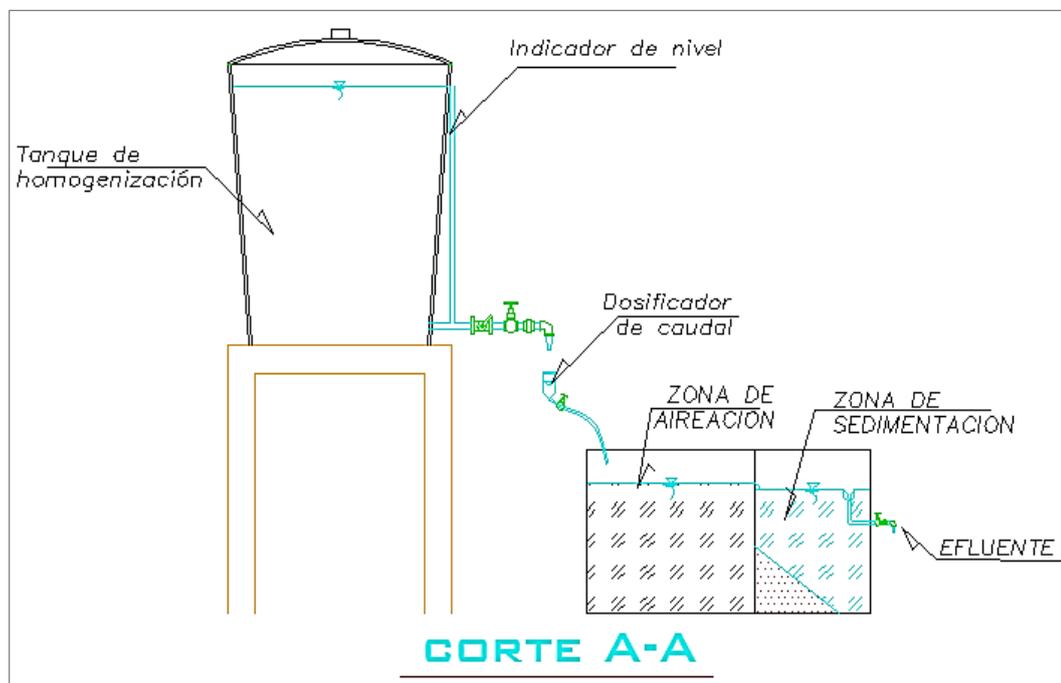


Figura 17. Vista lateral de la planta a escala piloto.

Los materiales usados se detallan a continuación:

- Tanque de acrílico.
- Tubería de PVC de 1/2".
- Tee de PVC de 1/2"
- Codo de PVC de 1/2".
- Tapón Macho de PVC de 1/2"
- Manguera de pastico de 1/8".
- Piedra difusora de cerámica circular.
- Manguera de pastico de 3/8".
- Repartidor de Caudal de Aire.
- Compresora marca Resun del tipo ACO-003
- Plancha de PVC.
- Reducción de PVC de 2" a 1/2".
- Abrazadera para manguera de 1/2".
- Adhesivo para Acrílico.
- Silicona.
- Pegamento.
- Cinta de teflón.



Figura 18. Vista General de la Planta a Escala piloto.



Figura 19. Vista de Planta del Sedimentador Secundario.

En la Figura 18 y Figura 19, se aprecia los componentes de la planta a escala piloto y los criterios de diseño para su elaboración, la pantalla que separa a la zona de aireación y al sedimentador secundario, y el vertedero rectangular. También se puede apreciar la rampa para un mejor manejo de los lodos sedimentados y el recolector de agua clarificada.



(a)



(b)

Figura 20. Sistema de Piedras Difusoras para la Transferencia de Oxígeno.

En la Figura 20 en (a) se tiene la red del sistema difusor para la transferencia de oxígeno, en (b) se puede apreciar el trabajo de dicho sistema; el cual, paso diversas pruebas antes de la puesta en marcha de la planta a escala piloto la distribución fue equitativa para una distribución equitativa de oxígeno.



Figura 21. Recirculación del Lodo del sedimentador al licor Mezclado en R2.

En la Figura 21 en (a) se está llevando a cabo el sifón para la extracción de lodo sedimentado. Haciendo uso de una manguera de 3/8" de diámetro y tubo de PVC de 1/2" de diámetro, en (b) se aprecia el lodo extraído, el cual se recolecta en un balde de 04 litros para su posterior recirculación al reactor R2.



Figura 22. Regulador del caudal de aire para el sistema de difusores.

En la Figura 22 se puede apreciar la regulación del aire para el suministro a la red de aireación. Inicialmente se contó con dos equipos compresores, pero para optimizar el proceso biológico, se instaló el dispositivo para mantener valores constantes de oxígeno disueltos en los reactores.

5.2.5. Tanque de rebose

La diferencia de caudal en la captación de cada sistema, fue derivada a un tanque de 220 litros, luego de alcanzar cierto nivel establecido se bombeaba nuevamente al tanque de homogenización. Se tomaron las medidas necesarias para mantener las condiciones de la muestra.

- Tanque de 220 litros.
- Manguera de 1/2".
- Válvula de purga de 1/2".
- Codo de PVC de 1/2".
- Bomba periférica de agua de ½ hp.
- Silicona.
- Pegamento.
- Cinta de teflón.



Figura 23. Recirculación del rebose al tanque de homogenización.

5.3. Criterios de diseño.

5.3.1. Criterios estructurales.

Para la instalación del tanque de homogenización o almacenamiento se utilizó un tanque Rotoplas de polietileno hermético, el cual está diseñado para almacenar líquidos y soportar la presión del agua en las paredes. El material es adecuado para el sustrato que se empleó en la investigación ya que el lixiviado tiene poder corrosivo. También por ser más manejable a la hora de ejercer el mantenimiento del mismo y a su vez adaptable a la instalación de accesorios para el sistema de ingreso y salida del afluente.

- Para el sistema de tratamiento de lodos activados de aireación prolongada fue necesario preparar un tanque de acrílico de 4mm de

espesor (ver Figura 9), que sea capaz de resistir la presión de agua, el contacto con el afluente y la intemperie del lugar. También se optó por la facilidad de percibir los cambios y procesos que se llevó a cabo en cada uno de los reactores a través de las paredes transparentes del mismo, desde la puesta en marcha hasta el fin de la investigación. El manejo y las variaciones en el proceso de la investigación fueron más maleables en dicho material y la generación de un menor costo en eventualidades futuras.

- Para la estructura de soporte del tanque de homogenización se tomó una estructura ya existente de ladrillo hueco en aparejo a soga y tablas apoyadas en forma transversal para tener mayor área de contacto en el soporte del tanque de homogenización.
- Para mantener una superficie estable por debajo del reactor se emplearon parihuelas reforzadas.

5.3.2. Criterios de diseño hidráulicos.

- El volumen de la cámara de sedimentación es mucha más pequeño que el de la cámara de aireación, en una relación aproximada de 3:7 [Ramalho, 1996]
- La red de distribución de aire para suministrar de oxígeno a cada reactor, fueron colocadas en el fondo de cada uno de ellos; de tal forma, suministrar a todo el licor mezclado el oxígeno para la degradación de la materia orgánica.
- Las piedras difusoras de cerámica circular se repartieron en toda la red de tal manera que se diera un flujo equitativo de aire en todo el licor mezclado. Las piedras difusoras se colocaron de tal manera para dar mayor suspensión al licor mezclado y una mejor transferencia de oxígeno en la generación de microburbujas.
- Se realizaron pruebas de aireación de la red de difusión de aire con la finalidad de elegir el compresor de aire que proporcione el OD adecuado en el licor mezclado y de las condiciones adecuadas para la degradación

de la materia orgánica y dar las condiciones adecuadas al tratamiento biológico.

- En la zona de decantación se incorporó una plancha de PVC con una inclinación adecuada para la recolección de lodo decantado en dicha unidad; de tal manera, obtener un efluente suficientemente clarificado para el desarrollo de la investigación y concentrar los sólidos para minimizar la cantidad de lodos que se habrá de manejar al momento de hacer sifón para el retorno o extracción del mismo.
- Para el control del caudal fue diseñado un sistema de tal manera que mantenga una carga hidráulica constante; de tal manera, lograr un caudal constante a la entrada del cada reactor de lodos activados. Para llevar a cabo dicho sistema, se empleó una botella plástica perforada a la que se le añadió una tubería de PVC con orificios de tal manera se genere un rebose y se mantenga un nivel estable. El rebose fue almacenado en un tanque de 220 litros para su posterior recirculación al tanque de homogenización.
- Para la salida del sedimentador secundario y hacer la toma de muestra en cada reactor, se elaboró un sistema con una reducción de PVC que al ser colocada como un embudo, recolecte el agua clarificada de la parte superior, y así, obtener el efluente de cada reactor para su posterior análisis.

5.3.3. Consideraciones durante el proceso constructivo.

- Se probó varias alternativas para el flujo del agua en el paso del reactor biológico a la zona de sedimentación secundaria. En primera instancia, el flujo de transición fue por debajo con una abertura de paso de 3 a 12 mm, el cual no fue favorable para la retención de Sólidos Suspendidos en el reactor y la calidad del efluente (ver
- Figura 24); por lo cual, se optó por emplear un vertedero rectangular en la transición del flujo entre el reactor y el sedimentador secundario, de esta manera, se obtuvo un efluente clarificado y valores de DBO_5 y DQO favorables a la investigación.

- Se emplearon listones de madera en los alrededores del reactor para evitar el pandeo de la estructura.
- Fue necesario la realización de pruebas hidráulica en toda la estructura de cada zona de la planta piloto antes de la puesta en marcha durante un tiempo prudencial, y así aseguro cualquier tipo de filtración. También se buscó asegurar la hermeticidad de cada válvula de control, tanto a la entrada del reactor como a la salida de la unidad de tratamiento.

El flujo de la zona de aireación hacia la zona de sedimentación es por debajo de las pantallas separadoras.



Figura 24. Primera configuración para el desarrollo de la investigación.

En la Figura 24, se puede observar la pantalla divisoria (**A**) entre la zona de aireación y sedimentación, por donde se generó el bypass entre ellas, el cual no fue favorable para el proceso.

5.4. Pruebas realizadas y acciones preliminares.

5.4.1. Pruebas de campo.

Están referidas a aquellas que tuvieron lugar en los ambientes del Centro de Investigación de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Facultad de Ingeniería Ambiental - Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI).

5.4.1.1 Pruebas hidráulicas

Esta prueba fue realizada a fin de determinar el grado de hermeticidad en las paredes e interconexiones de la estructura de la planta a escala piloto y así garantizar un adecuado funcionamiento en cada uno de los procesos desarrollados en la investigación. Estas pruebas tuvieron mayor énfasis en el tanque de homogenización, en cada reactor de lodos activados y en sus respectivos sedimentadores.



Figura 25. Prueba hidráulica a la planta de tratamiento a escala piloto.

En la Figura 25, al finalizar el ensamblado de la planta a escala piloto, se procedió a llenar con agua potable a todas las unidades por un lapso de 48 horas, comprobando así la hermeticidad para su posterior funcionamiento

5.4.1.2 Capacidad de oxigenación.

Con la finalidad de obtener la capacidad de oxigenación del sistema, en cada reactor se realizó un déficit de oxígeno y ver las variaciones que se producen en el tiempo. La concentración de oxígeno disuelto luego de cierto tiempo en cada reactor llegará a su punto de saturación, en consecuencia tenderá a tener un déficit cero.



Figura 26. Prueba del sistema para la capacidad de oxigenación.

5.4.1.3 Determinación del oxígeno disuelto.

Dicho parámetro se midió por medio de dos alternativas: la primera por el método winkler o yodométrico y la segunda por el método de electrodo de

membrana; la utilización de uno u otro fue debido a la interferencia que se generó utilizando el primero método.



Figura 27. Métodos y equipos empleados para la determinación de OD.

5.4.1.4 Determinación del tiempo de retención hidráulica.

Esta prueba fue determinada con el uso de sal como trazador; la medición de los reactores se hizo de manera simultánea en los puntos de entrada y salida; de tal manera, mediante el uso de un conductímetro de campo ir midiendo las variaciones de la conductividad en el tiempo. Se estableció el caudal constante a la entrada de cada reactor de 144 l/día y una concentración de sal constante de tal manera que, saturamos el lodo en cada reactor. Luego se incrementó la concentración del trazador con una concentración de 2 mg/l para cada reactor durante un periodo de 30 minutos y en el transcurso del análisis se tomaron las muestras en intervalos correspondientes. Tubo como culminación la prueba al comprobar que la diferencia de concentración de sal tanto a la entrada como a la salida sea casi cero.

5.4.2. Pruebas de laboratorio.

Están referidas a aquellas que tuvieron lugar en los ambientes del laboratorio de Investigación del Agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI, las cuales son nombradas en las siguientes tablas:

Tabla 7. Parámetros de monitoreo y frecuencia de control en la planta.

Parámetro/Control	diario	1 vez por semana	2 veces por semana	3 veces por semana
DQO				
DBO ₅				
Sólidos Sedimentables				
Sólidos Suspendidos				
Temperatura				
pH				
Conductividad				
Turbiedad				
OD				
IVL				

Tabla 8. Metodología para los análisis a desarrollar en la investigación.

DBO5				
ENSAYO	METODO	DESCRIPCION	MATERIALES	REACTIVOS
TURBIDEZ	2130 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF.	Metodo Nefelometrico	Celda turbidimetrica, vaso precipitado 50 ml, pipeta, bagueta.	
pH	4500-H+ B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Electrometrico	Potenciometro de Campo	
TEMPERATURA	2550 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Termometro Celsius de Mercurio	vaso precipitado de 50	
CONDUCTIVIDAD	2510 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Metodo de electrodo	vaso de precipitado de 50	
OXIGENO DISUELTO	2550 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Winkler o Yodometrico	frascos OD, pipeta 10ml, fiola 200ml, bureta, soporte univerasal.	almidon, yoduro de nitruro, sulfato manganoso, acido sulfurico concentrado y tiosulfato de sodio.
	2550 G Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Electrodo de Membrana	frascos OD, electrodo	
DBO ₅	5210 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Prueba al 5to dia-DBO	frascos OD, pipeta 10ml, fiola 200ml, bureta, soporte univerasal, encubadora, nutrientes (cloruro ferrico, cloruro calcico, sulfato de magnesio y solucion tampón de fosfato)	almidon, yoduro de nitruro, sulfato manganoso, acido sulfurico concentrado y tiosulfato de sodio.
DQO total	5220 C Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Método Titulométrico de Reflujo Cerrado.	pipeta, gradillas, equipo espectrofotometro, reactor digestor, papel tissue.	Viales para alto rango de D.Q.O. (Rango.: 0 - 15000 ppm.)
Sólidos Totales	2540 B Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	secados a 103 - 105 °C	Capsulas, probetas, Cono Inhoff, plancha de calentamiento, estufa de 0 a 180° y mufla de 0 a 1000°, embudos y papel filtro wattman N 40, porta embudo, desecador, pinxa para capsula	
Sólidos Totales Disueltos	2540 C Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	secados a 180 °C		
Sólidos totales en suspension	2540 D Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	secados a 103 - 105 °C		
Sólidos Volátiles	2540 E Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	incinerados a 550 °C		
Sólidos totales Sedimentables	2540 F Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF	Volumetrico (cono Inhoff)		

5.4.2.1 Determinación de turbiedad.

La turbiedad fue evaluada continuamente durante todos los días de la investigación a la entrada de cada rector y a la salida de cada sedimentador secundario, mediante el método nefelométrico haciendo uso de un turbidímetro. Dicho análisis se dio con un turbidímetro de mesada modelo 2100N.



Figura 28. Equipo y materiales para determinar la turbiedad.

En la Figura 28, en (a) se puede apreciar el turbidímetro de mesada modelo 2100N, en (b) vaso precipitado de 50 ml con muestra del efluente del R2.

5.4.2.2 Determinación de conductividad.

La conductividad fue evaluada continuamente durante todos los días de la investigación a la entrada de cada rector y a la salida de cada sedimentador secundario, mediante el método de electrodo haciendo uso de electrodo de plástico.



Figura 29. Equipo y materiales para determinar la conductividad.

En la Figura 29, en (a) medición de la conductividad a la salida Reactor R2 y en (b) medición de la conductividad a la entrada de cada reactor (afluente).

5.4.2.3 Determinación de pH y temperatura.

Estos parámetros fueron evaluados continuamente durante todos los días de la investigación a la entrada de cada reactor y a la salida de cada sedimentador secundario. Dichas magnitudes han sido determinadas mediante el uso de un equipo peachimetro (el cual tiene incorporado un termómetro). Su interpretación se dará en el análisis de resultado.

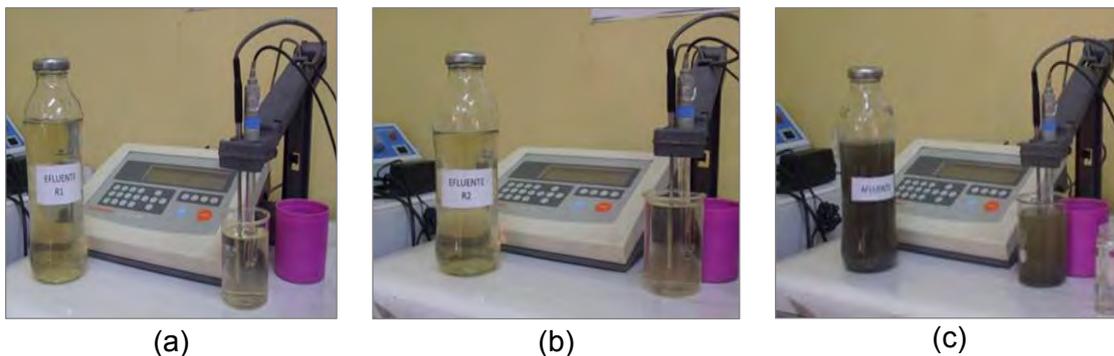


Figura 30. Equipo y materiales para determinar el pH y temperatura.

En la Figura 30, en (a) medición del pH y la temperatura a la salida Reactor R1, en (b) medición del pH y la temperatura a la salida Reactor R2 y en (c) medición del pH y la temperatura a la entrada de cada reactor (afluente).

5.4.2.4 Determinación de oxígeno disuelto.

Este parámetro fue monitoreado 3 veces por semana durante la investigación, en cada reactor correspondiente, a la entrada y salida de la planta para las futuras interpretaciones. Dichas mediciones se dieron por: un Oxímetro HQ40d de la marca HACH y por el método winkler o yodométrico.



Figura 31. Materiales y reactivos rutinarios en la determinación del OD.

5.4.2.5 Determinación del índice volumétrico de lodo.

Este parámetro fue monitoreado 3 veces por semana durante la investigación, en cada reactor correspondiente. El cual fue determinado haciendo uso de una probeta de 1 litro, en donde el IVL se entiende como el volumen en mililitros ocupado por 1 g de una suspensión después de 30 minutos de sedimentación. Mediante este parámetro se desarrolló el monitoreo de cada reactor para

determinar las características de sedimentación del lodo activado y otras suspensiones biológicas. Aunque el IVL carece de apoyo teórico, la experiencia ha demostrado su utilidad para el control de procesos rutinarios.



Figura 32. Determinación del IVL en cada reactor.

En la Figura 32 de izquierda a derecha se observa la sedimentación del lodo proveniente del licor mezclado del R2 después de la recirculación de lodo decantado en la zona de sedimentación secundaria, en la probeta central se observa el lodo sedimentado del R2 sin recirculación de lodo y por último la probeta que contiene el lodo del R1; el cual, desarrolla el tratamiento biológico sin recirculación de lodo. Luego se tomó las medidas en mililitros del lodo sedimentado para cada uno de los casos presentados.

5.4.2.6 Determinación de sólidos totales.

Para la determinación de este parámetro, se acondicionó las capsula en la mufla a una tempera de 650°C, luego se tomó el peso las capsulas y se llevó al horno a una temperatura de 103-105°C; en donde se evapora 25 ml de muestra correctamente mezclada de cada reactor para determinar la cantidad de dicho parámetro. Al transcurrir un periodo establecido en los métodos normalizados se pasa a medir el aumento de peso de las capsulas respectivas a cada reactor para la determinación de dicho parámetro.



Figura 33. Acondicionamiento de las cápsulas antes de ser pesadas.

5.4.2.7 Determinación de sólidos disueltos.

Para la determinación de este parámetro, se acondicionó las capsula en la mufla a una tempera de 650°C, luego se tomó el peso las capsulas y se llevó al horno a una temperatura de 180°C; en donde se evapora 25 ml filtrados en papel Whatman N° 40 de cada reactor para determinar la cantidad de dicho parámetro. Al transcurrir un periodo establecido en los métodos normalizados se pasa a medir el aumento de peso de las capsulas respectivas a cada reactor para la determinación de dicho parámetro.



Figura 34. Acondicionamiento y filtración de cada muestra.

En la Figura 34, Haciendo uso de una probeta, vasos, embudo, pipeta y papel Whatman N° 40, se procede a hacer el filtrado de 25 ml de muestra para la determinación de sólidos disueltos en cada reactor.

5.4.2.8 Determinación de sólidos suspendidos.

Los SS fueron determinados mediante la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos; son los más importantes en los análisis de Aguas Residuales. En los diseños a escala real se tiene mucha consideración de ellos para determinar la eficiencia del tratamiento. Este parámetro es representativo en muchos otros como por ejemplo: DBO₅, DQO, etc.

5.4.2.9 Determinación de sólidos fijos y volátiles.

Los residuos obtenidos al determinar los ST y SDT, son incinerados en la mufla a una temperatura de 550 ± 50 °C. Los Sólidos remanentes representan los sólidos totales fijos, disueltos o en suspensión, mientras que la pérdida de peso por ignición representa los sólidos volátiles. La determinación es útil para el

control de las operaciones de plantas de tratamiento de aguas residuales, porque ofrece un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción del agua residual, lodos activados y residuos industriales.



Figura 35. Horno y mufla empleados en la determinación de los sólidos.

5.4.2.10 Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

La determinación de la DBO₅ se realizó para cada reactor, en donde se toma muestra tanto a la salida de los reactores y a la entrada, de tal manera determinar la eficiencia en cada proceso. El método consiste en inocular en un frasco winkler, previa preparación del agua de dilución, diluciones establecidas para el análisis, e incubarlo a una temperatura de 20°C durante 5 días. Para la preparación del agua de dilución, se agrega 1 ml por litro de agua destilada, de cada una de las soluciones de tampón fosfato, MgSO₄, CaCl₂ y FeCl₃; con previa saturación del agua de dilución. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y la DBO₅ se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final. La diferencia la genera la materia orgánica que se ha oxidado bajo condiciones aeróbicas. Este método de las diluciones está especificado en los Métodos Normalizados para el análisis de agua potable y aguas residuales 1992. Para la determinación de OD se empleó dos métodos: el yodométrico y con un Oxímetro HQ40d de la marca HACH.



(a)



(b)

Figura 36. Preparación de las muestras y diluciones correspondientes.

En la Figura 36, en (a) se aprecia las muestras de afluente, de los reactores y del efluente, para el desarrollo de las pruebas rutinarias; mientras que en (b), se aprecia las diluciones que serán incubadas por 5 días.



(a)



(b)

Figura 37. Inoculación de reactivos después de la incubación.

En la Figura 37, en (a) se aprecia las muestras incubación y listas para la determinación del oxígeno disuelto; mientras que en (b) se tiene la incubación del efluente de R1 para la determinación del OD y así poder calcular la DBO_5 , y determinar la eficiencia en la remoción de carga orgánica.

Tabla 9. Medición de la DBO₅ con muestras de diferentes diluciones

Uso de porcentaje de mezclas		Medición Directa con pipeta en recipientes de 300 ml	
% de la Mezcla	Margen de DBO	ml	Margen de DBO
0.01	20000-70000	0.02	30000-105000
0.02	10000-35000	0.05	12000-42000
0.05	4000-14000	0.1	6000-21000
0.1	2000-7000	0.2	3000-10500
0.2	1000-3500	0.5	1200-4200
0.5	400-1400	1	600-2100
1.0	200-700	2	300-1050
2.0	100-350	5	120-420
5.0	40-140	10	60-210
10.0	20-70	20	30-105
20.0	10-35	50	12-42
50.0	4-14	100	6-21
100	0-7	300	0-7

Fuente: [Jimeno, 1988]

La inoculación de las muestras se llevó a cabo mediante medición directa con pipeta en frascos winkler de 300ml, teniendo en cuenta los márgenes que se muestran en la Tabla 9.

$$DBO \left(\frac{mg}{L} \right) = \left[(ODb - ODi) * \frac{vol.de\ la\ botella}{ml\ de\ muestra} \right] - (ODb - ODs) \quad [6]$$

ODb = Oxígeno disuelto del blanco, al fin del periodo de incubación.

ODi = Oxígeno disuelto en la dilución, al fin del periodo de incubación.

ODs= Oxígeno Disuelto presente en la muestra no diluida.

5.4.2.11 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO).

La remoción de demanda química de oxígeno fue evaluada semanalmente de acuerdo al método de reflujo con dicromato indicada en los Métodos Normalizados. En la investigación se empleó viales de diferentes rangos (0-150,0-1500,01-5000 ppm); dependerá de las características del sustrato para el empleo de cada rango. Después de homogenizar la muestra se añade 2 ml de muestra en el tubo de reactivo, cerrar herméticamente y agitar cuidadosamente. Calentar el reactor DQO y precalentar a 150°C e incorporar la muestra y el blanco (incorporación de 2ml de agua destilada en un tubo de reactivo de las mismas características), luego de 2 horas de calentamiento en el reactor dejar enfriar 20 minutos aproximadamente y agitar varias veces. Al transcurrir el tiempo se realiza la lectura en espectrofotómetro a 620 nm contra blanco de reactivos.



Figura 38. Inoculación de afluente y efluente de cada reactor a los viales.



Figura 39. Reactor y resultados de la DQO.

5.4.2.12 Determinación de microorganismos.

Los microorganismos presentes en cada reactor fueron observados a través de un microscopio en las instalaciones de CITRAR-UNI y en Laboratorio de Investigación del Agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental. Se tomaron muestras de lodo proveniente de cada reactor de acuerdo a la dilución Lixiviado-Agua Residual. (v/v)

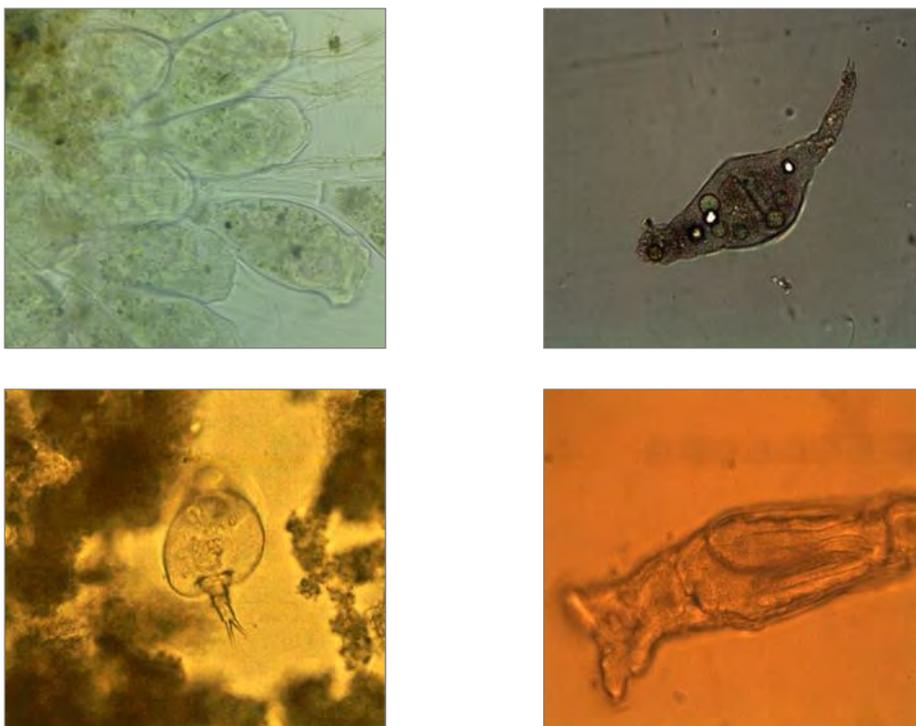


Figura 40. Algunos microorganismos observados en la investigación.

5.4.3. Traslado del lixiviado del relleno sanitario a CITRAR-UNI.

Los lixiviados utilizados en la investigación provienen del Relleno Sanitario de Ancón, para su traslado se realizaron 02 viajes a CITRAR-UNI, en recipientes de 100-150-250 litros y galoneras de 5 gal. cerradas herméticamente, ver Figura 41. Se ubicaron en un lugar aislado para evitar cualquier contaminación a los alrededores y se tomaron las medidas de seguridad respectiva para su manipulación.



Figura 41. Transporte del lixiviado a la planta a escala piloto.



Figura 42. Almacenamiento del lixiviado para la investigación.

CAPITULO 6

PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA A ESCALA PILOTO.

La puesta en marcha y operación de los reactor utilizados, consiste de dos etapas básicamente; la etapa inicial en la cual se trabajó exclusivamente con el agua residual doméstica y una segunda etapa en la cual se fue añadiendo lixiviado al agua residual en diferentes concentraciones.

6.1. Primera etapa - puesta en marcha con aguas residuales.

Esta etapa se inicia con la inoculación de lodo proveniente de la PTAR de Manchay a razón de 60 litros de lodos para cada reactor, equivalente a 3664 mg/L de SST y de 3100 mg/L de SSV; el volumen restante se completó con agua residual (sustrato), la cual paso por un tratamiento preliminar: cribado, desarenador y sedimentador primario. La alimentación o llenado de cada reactor se realiza en forma manual, por la parte superior del estanque que se encuentra abierta a la atmósfera.



Figura 43. Conservación del Lodo a inocular.

En la Figura 43, se observa el lodo a inocular, el cual, se mantuvo aireado para conservarlo hasta ser agregado a cada reactor.

Una vez inoculado el lodo a los reactores, se inicia con la etapa de aclimatación, durante el cual, los sistemas fueron alimentados con agua residual sin aporte de lixiviado alguno, esto con el fin de propiciar la estabilización y adaptación del lodo al sustrato. En esta etapa los microorganismos presentes en el lodo se adaptaran al nuevo sustrato; además, se desarrollará la formación de nuevos microorganismos, que en conjunto serán los responsables del tratamiento y la eficiencia que se produzca en el sistema.



Figura 44. Puesta en Marcha con agua residual.

En la Figura 44, en la parte izquierda se aprecia el arranque de la planta de tratamiento de lodos activados con aireación prolongada a escala piloto con agua residual doméstica. A la derecha se encuentran las primeras muestras de cada proceso al 0% de lixiviado.

Esta etapa tuvo una duración de 3 semanas, en este periodo se evaluó el comportamiento de ambos reactores, a través del monitoreo y análisis de los principales indicadores físicos-químicos, bioquímicos y químicos de acuerdo a los métodos de análisis de aguas residuales normalizados.

Este periodo de aclimatación se consideró terminado, cuando los parámetros de control mostraron condiciones estables, y las eficiencias de remoción de la DBO_5 fueron superiores al 95%

El Sistema se diseñó con la finalidad de que cada reacción ocurra en forma independiente en cada reactor de lodos activados y dicha reacción, está directamente relacionada con el nivel de aireación que entrega la compresora de aire (bajo /alto), sustrato y la cantidad de microorganismos presentes en cada reactor. Debido a la recirculación de lodo en el reactor R2, proveniente de la zona de sedimentación secundaria, se mantiene la concentración de sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM)

6.2. Segunda etapa - puesta en marcha con agua residual y lixiviado en dilución.

Esta fase se dio inicio con el incorporación del lixiviado, iniciándose con una concentración de 1% en volumen (para la concentración inicial se tomó en base a los antecedentes), esta concentración se mantuvo entre el día 20 y 40, posteriormente las concentraciones de lixiviado fueron incrementado progresivamente de la siguiente manera: 1.5% entre los días 41 y 54, 2% entre los días 55 y 68, 3% entre los días 69 y 82, 4% entre los días 83 y 103, 5% entre los días 104 y 116, 6% entre los días 117 y 131, 7% entre los días 132 y 138; finalmente 8% entre los días 139 y 152.

Cada incremento de la concentración del lixiviado se efectuó una vez el sistema alcanzaba la estabilidad; es decir, manteniendo las mismas condiciones iniciales tanto al ingreso como salida de cada proceso. Como criterio de estabilidad se tuvo que la concentración de la contaminación del efluente medida como DQO permaneciera con variaciones inferiores o iguales al 10%, así como su remoción; también se tuvieron en cuenta los datos de turbiedad y DBO₅.



Figura 45. Fase inicial y final de la Investigación.

En la Figura 45, a la izquierda se encuentra la puesta en marcha de la investigación con Agua residual; mientras que a la derecha, se aprecia la culminación de la investigación a un 8% de dilución en volumen entre agua residual y lixiviado.



Figura 46. Inicio de las diluciones de Lixiviado con agua residual.

En la Figura 46, se observa las primeras diluciones de lixiviado y agua residual, y luego ser direccionadas al tanque de homogenización.



Figura 47. Lecho de secado del Reactor R1.

En la Figura 47, se encuentra la zona de lecho de secado del lodo extraído del sedimentador secundario en el reactor R1. Esta acción se desarrolló con la finalidad de mantener un adecuado funcionamiento del sistema.



Figura 48. Primer y último muestreo de diluciones L - AR

En la Figura 48, se tiene las muestras de entrada y salida; a la izquierda se tiene la dilución del 1% en relación de volumen, a la derecha se puede observar uno de los últimos monitoreos a una dilución del 8% en relación de volumen. También se puede apreciar el color que fue adquiriendo el efluente, debido al incremento del porcentaje de lixiviado.

CAPITULO 7

RESULTADOS OBTENIDOS

Para la medición de las variables del proceso se siguió la metodología del Manual de Análisis de Aguas, el cual es una recopilación de los procedimientos de análisis basados en los métodos estandarizados de la APHA y AWWA; los cuales se llevaron a cabo en el laboratorio de Investigación del Agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental.

Con el objetivo de evaluar el funcionamiento del sistema de Lodos Activados de la Planta Piloto se realizaron mediciones de pH, Temperatura, Turbiedad, Conductividad, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales, Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendidos, Índice Volumétrico de Lodos, Carga Orgánica y Oxígeno Disuelto.

Algunos de estos parámetros se midieron in situ, tales como pH, T°, OD, así como el seguimiento al caudal de entrada del sistema.

7.1. Resultados de medición del pH.

Durante la investigación se hizo lectura del pH en diferentes puntos de cada sistema tales como en el afluente, zona de aireación y en el efluente; mediante el cual, se verá los cambios de alcalinidad y acidez en los diferentes puntos mientras se incrementa la concentración de lixiviado.

Durante todo el periodo de investigación el pH obtuvo una variación comprendida dentro del rango de 7.07 y 8.92 para el afluente, entre 7.07 y 8.79 para el Reactor R1 y entre 7.09 y 8.54 para el Reactor R2.

Asimismo presento un rango comprendido entre 6.69 y 8.78 para el efluente del Reactor R1 y entre 6.61 y 8.64 para el efluente del Reactor R2

En las siguientes tabla se puede ver las variaciones del pH en función al tiempo y del incremento de la concentración de lixiviado en el sustrato.

Tabla 10. Variación del pH durante el periodo de investigación

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	pH					
			AFLUENTE	REACTOR R1	REACTOR R2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	
1	D = 0%	25-abr	7.35	7.41	7.46	7.46	7.56	
2		26-abr	7.24	7.30	7.25	7.35	7.26	
3		27-abr	7.32	7.45	7.48	7.58	7.64	
4		28-abr	7.22	7.46	7.52	7.69	7.82	
5		29-abr	7.37	7.30	7.41	7.23	7.45	
8		02-may	7.28	7.33	7.33	7.37	7.38	
9		03-may	7.46	7.47	7.50	7.47	7.54	
10		04-may	7.31	7.42	7.37	7.52	7.43	
11		05-may	7.07	7.07	7.33	7.07	7.58	
12		06-may	7.74	7.64	7.79	7.54	7.83	
15		09-may	7.40	7.52	7.49	7.64	7.57	
16		10-may	7.3	7.18	7.09	7.06	6.87	
17		11-may	7.13	7.25	7.17	7.36	7.20	
18		12-may	7.48	7.38	7.40	7.27	7.32	
19		13-may	7.24	7.36	7.35	7.48	7.45	
22		D = 1%	16-may	7.73	7.59	7.50	7.44	7.26
23			17-may	7.65	7.53	7.39	7.41	7.13
24			18-may	7.42	7.35	7.31	7.28	7.19
25			19-may	7.66	7.52	7.44	7.38	7.21
26	20-may		7.52	7.23	7.13	6.94	6.74	
29	23-may		7.40	7.36	7.11	7.32	6.81	
30	24-may		7.53	7.50	7.18	7.46	6.82	
31	25-may		7.38	7.53	7.43	7.67	7.48	
32	26-may		7.41	7.28	7.23	7.15	7.05	
33	27-may		7.36	7.21	7.36	7.05	7.35	
36	30-may		7.43	7.50	7.53	7.56	7.62	
37	31-may		7.67	7.85	7.75	8.02	7.83	
38	01-jun		7.49	7.61	7.65	7.72	7.81	
39	02-jun		7.40	7.55	7.48	7.69	7.56	
40	03-jun	7.45	7.68	7.67	7.90	7.88		

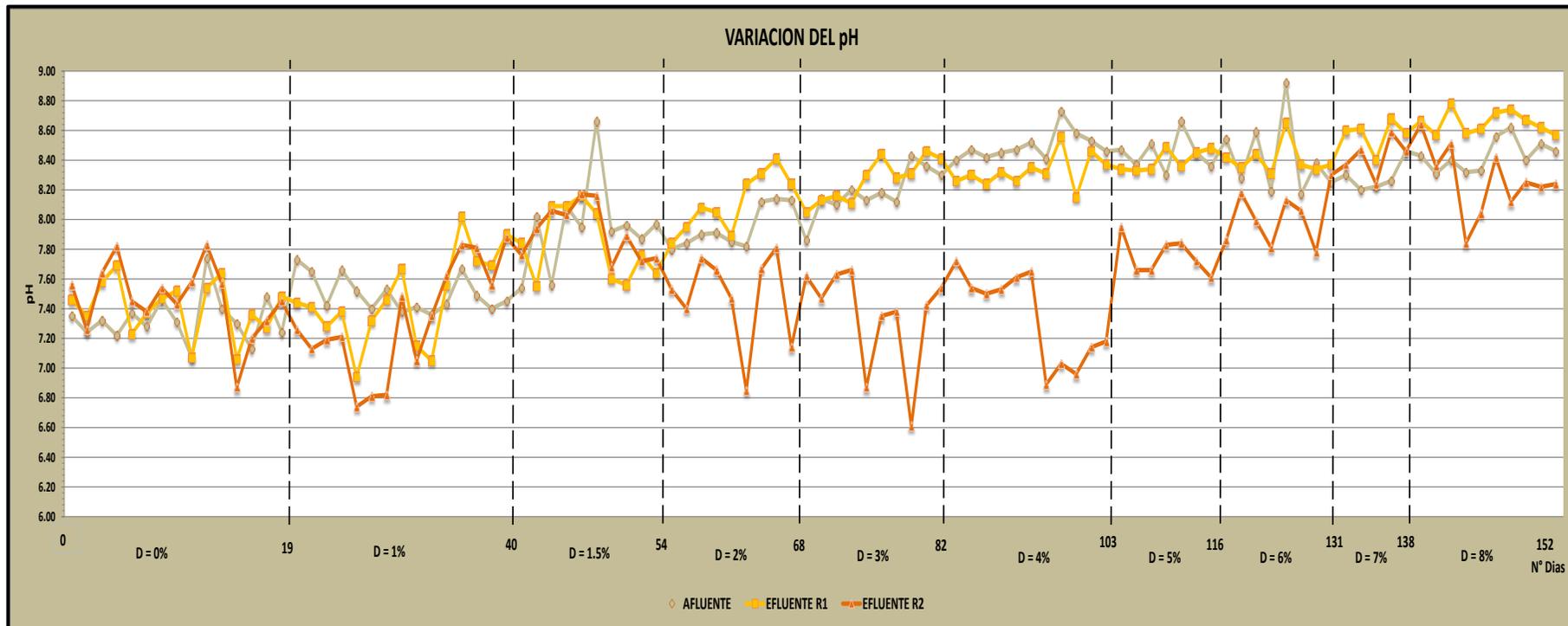
N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	pH					
			AFLUENTE	REACTOR R1	REACTOR R2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	
43	D = 1.5%	06-jun	7.54	7.69	7.65	7.84	7.76	
44		07-jun	8.02	7.79	7.98	7.55	7.94	
45		08-jun	7.56	7.83	7.81	8.09	8.06	
46		09-jun	8.09	8.09	8.06	8.09	8.03	
47		10-jun	7.95	8.06	8.06	8.16	8.17	
50		13-jun	8.66	8.35	8.41	8.04	8.16	
51		14-jun	7.92	7.76	7.80	7.60	7.68	
52		15-jun	7.96	7.76	7.93	7.56	7.89	
53		16-jun	7.87	7.82	7.80	7.76	7.72	
54		17-jun	7.97	7.81	7.86	7.64	7.74	
57		D = 2%	20-jun	7.80	7.82	7.67	7.84	7.53
58			21-jun	7.84	7.90	7.62	7.95	7.40
59			22-jun	7.90	7.99	7.82	8.08	7.74
60			23-jun	7.91	7.98	7.79	8.05	7.66
61			24-jun	7.85	7.87	7.66	7.89	7.47
64			27-jun	7.82	8.03	7.34	8.24	6.85
65			28-jun	8.12	8.22	7.90	8.31	7.67
67	30-jun		8.14	8.28	7.98	8.41	7.81	
68	01-jul		8.13	8.19	7.64	8.24	7.14	
71	D = 3%		04-jul	7.86	7.96	7.74	8.05	7.62
72		05-jul	8.14	8.14	7.81	8.13	7.47	
73		06-jul	8.10	8.13	7.87	8.16	7.63	
74		07-jul	8.20	8.16	7.93	8.11	7.66	
75		08-jul	8.13	8.22	7.50	8.30	6.87	
78		11-jul	8.18	8.31	7.77	8.44	7.35	
79		12-jul	8.12	8.20	7.75	8.28	7.38	
80		13-jul	8.43	8.37	7.52	8.31	6.61	
81		14-jul	8.36	8.41	7.89	8.46	7.42	
82		15-jul	8.30	8.36	7.92	8.41	7.54	

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	pH					
			AFLUENTE	REACTOR 1	REACTOR 2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	
85	D = 4%	18-jul	8.40	8.33	8.06	8.26	7.72	
86		19-jul	8.47	8.39	8.01	8.30	7.54	
89		22-jul	8.42	8.33	7.96	8.24	7.50	
92		25-jul	8.45	8.39	7.99	8.32	7.53	
93		26-jul	8.47	8.37	8.04	8.26	7.61	
94		27-jul	8.52	8.44	8.09	8.35	7.65	
99		01-ago	8.41	8.36	7.65	8.31	6.89	
100		02-ago	8.73	8.65	7.88	8.56	7.03	
101		03-ago	8.58	8.37	7.77	8.15	6.96	
102		04-ago	8.53	8.50	7.84	8.46	7.14	
103		05-ago	8.46	8.42	7.82	8.37	7.18	
106		D = 5%	08-ago	8.47	8.41	8.21	8.34	7.95
107			09-ago	8.37	8.35	8.02	8.33	7.66
108	10-ago		8.51	8.43	8.09	8.34	7.66	
109	11-ago		8.30	8.40	8.07	8.49	7.83	
110	12-ago		8.66	8.51	8.25	8.36	7.84	
114	16-ago		8.45	8.45	8.09	8.45	7.72	
116	18-ago		8.36	8.42	7.99	8.48	7.61	
120	D = 6%	22-ago	8.54	8.48	8.20	8.42	7.86	
121		23-ago	8.28	8.32	8.23	8.35	8.18	
122		24-ago	8.59	8.52	8.29	8.44	7.99	
123		25-ago	8.19	8.25	8.00	8.31	7.81	
124		26-ago	8.92	8.79	8.53	8.65	8.13	
129		31-ago	8.17	8.27	8.12	8.37	8.06	
130		01-sep	8.38	8.36	8.08	8.34	7.78	
131		02-sep	8.25	8.31	8.28	8.37	8.30	

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	pH				
			AFLUENTE	REACTOR 1	REACTOR 2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2
134	D = 7%	05-sep	8.30	8.45	8.34	8.60	8.37
135		06-sep	8.20	8.41	8.34	8.61	8.47
136		07-sep	8.22	8.31	8.23	8.40	8.24
137		08-sep	8.26	8.47	8.43	8.68	8.59
138		09-sep	8.46	8.52	8.46	8.58	8.46
141	D = 8%	12-sep	8.43	8.55	8.54	8.66	8.64
142		13-sep	8.31	8.44	8.34	8.57	8.36
143		14-sep	8.40	8.59	8.46	8.78	8.51
144		15-sep	8.32	8.45	8.08	8.58	7.84
145		16-sep	8.33	8.47	8.19	8.61	8.04
148		19-sep	8.56	8.64	8.49	8.72	8.42
149		20-sep	8.62	8.68	8.37	8.74	8.12
150		21-sep	8.40	8.54	8.33	8.67	8.25
151		22-sep	8.51	8.57	8.37	8.62	8.22
152		23-sep	8.46	8.52	8.35	8.57	8.24

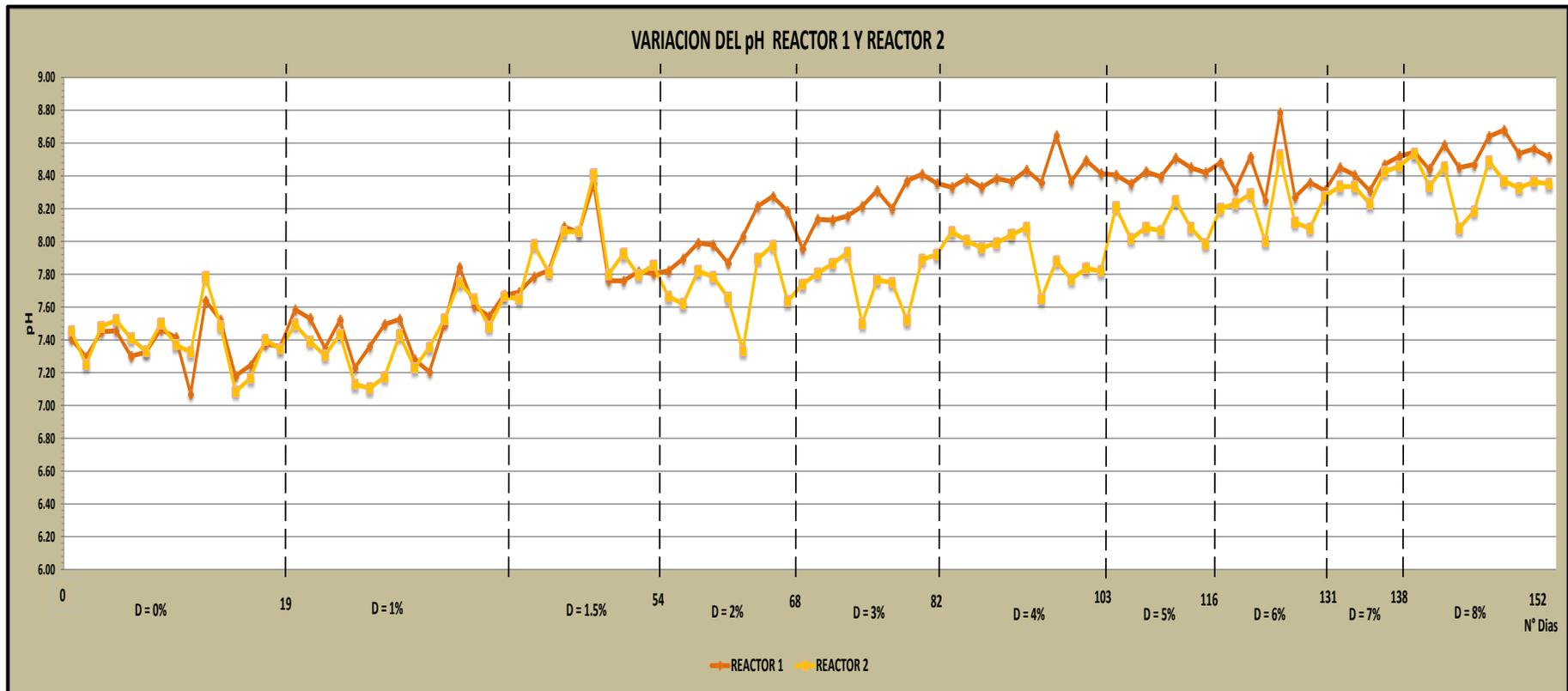
A continuación se presenta los s de variación del pH entre el afluente y efluente de cada sistema y comparativo de la variación del pH en cada reactor.

Gráfico 1. Variación del pH en el afluente y efluentes R1 y R2 (D: 0%-8%)



En el Gráfico 1 se observa la variación que mantuvo el pH en 3 puntos monitoreados durante la investigación. Durante la primera etapa, el sistema trabaja sin aporte alguno de lixiviado, el pH es prácticamente neutro en los 3 puntos monitoreados, con un rango entre 6.87 y 7.83. En la segunda etapa se adiciona el lixiviado desde 1% hasta 8% en relación al volumen del agua residual, el pH sufre un ligero incremento en sus valores, presentando un rango entre 7.36 y 8.92 para el afluente. En el caso de los efluentes, el pH presenta un rango comprendido entre 6.94 y 8.78 para el Reactor R1 y entre 6.74 y 8.64 para el Reactor R2

Gráfico 2. Variación del pH en los reactores (D: 0%-8%)



En el Gráfico 2 se observa la variación que mantuvo el pH en la zona de aireación de cada reactor durante todo el periodo de la investigación. En los reactores, el pH varía entre 7.21 y 8.79 para el caso del Reactor R1 y entre 7.11 y 8.54 para el Reactor R2. Según estos valores de pH, los organismos encargados de la remoción de la materia orgánica, los cuales se encuentran presentes en la zona de aireación, pueden desarrollarse de manera óptima y asegurar una actividad biológica eficiente.

7.1.1. Temperatura ambiental

El periodo de investigación abarcó los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, a continuación se presenta un cuadro de la variación de la temperatura durante este periodo. La investigación abarcó las estaciones de otoño e invierno, básicamente las estaciones de más bajas temperaturas en el año

Tabla 11. Variación de la temperatura ambiental durante la investigación.

	T (°C)	TM (°C)	Tm (°C)
ABRIL	19.2 - 21.2	23.0 - 25.6	16.7 - 19.0
MAYO	18.6 - 20.8	20.0 - 24.5	16.7 - 19.6
JUNIO	18.6 - 20.5	20.0 - 23.6	16.0 - 19.0
JULIO	15.5 - 17.0	20.0 - 24.0	16.0 - 19.0
AGOSTO	15.6 - 17.1	17.3 - 20.7	14.0 - 16.0
SEPTIEMBRE	15.7 - 17.2	17.4 - 20.8	14.0 - 15.8

T: Temperatura media (°C)

TM: Temperatura máxima (°C)

Tm: Temperatura mínima (°C)

Referencia: Datos climáticos históricos de Lima-Callao / Aerop. Internacional Jorge Chávez registrado durante el mes de Abril, Mayo, Julio, Agosto, Setiembre del año 2011, con medias mensuales. Reportados por la estación meteorológica: 846280 (SPIM) Latitud: -12 | Longitud: -77.11 | Altitud: 12.

7.1.2. Resultados de medición de la temperatura.

Durante la investigación se hizo lectura de la Temperatura en diferentes puntos de cada sistema tales como en el afluente, zona de aireación de ambos reactores y en el efluente; mediante la cual se podrá observar y relacionar estos valores con los cambios que se puedan generar en el tratamiento, el comportamiento de los microorganismos, en la generación de lodo, etc.

Durante todo el periodo de investigación la temperatura obtuvo una variación comprendida dentro del rango de 16.70 °C y 22.90 °C para el afluente, entre 16.65 °C y 22.85°C para el Reactor R1, entre 16.60 °C y 22.50 °C para el Reactor R2, entre 16.60 °C y 22.80 °C para el efluente del Reactor R1 y entre 16.40 °C y 22.10°C para efluente del Reactor R2.

En la Tabla 12 se puede ver las variaciones de la Temperatura en función al tiempo y del incremento de la concentración de lixiviado en el sustrato; la cual, va desde valores mínimo de 16.4°C hasta valores máximos de 22.9°C. La toma de temperatura se llevó a cabo todos los días durante la investigación.

Tabla 12. Variación de la temperatura durante el periodo de investigación

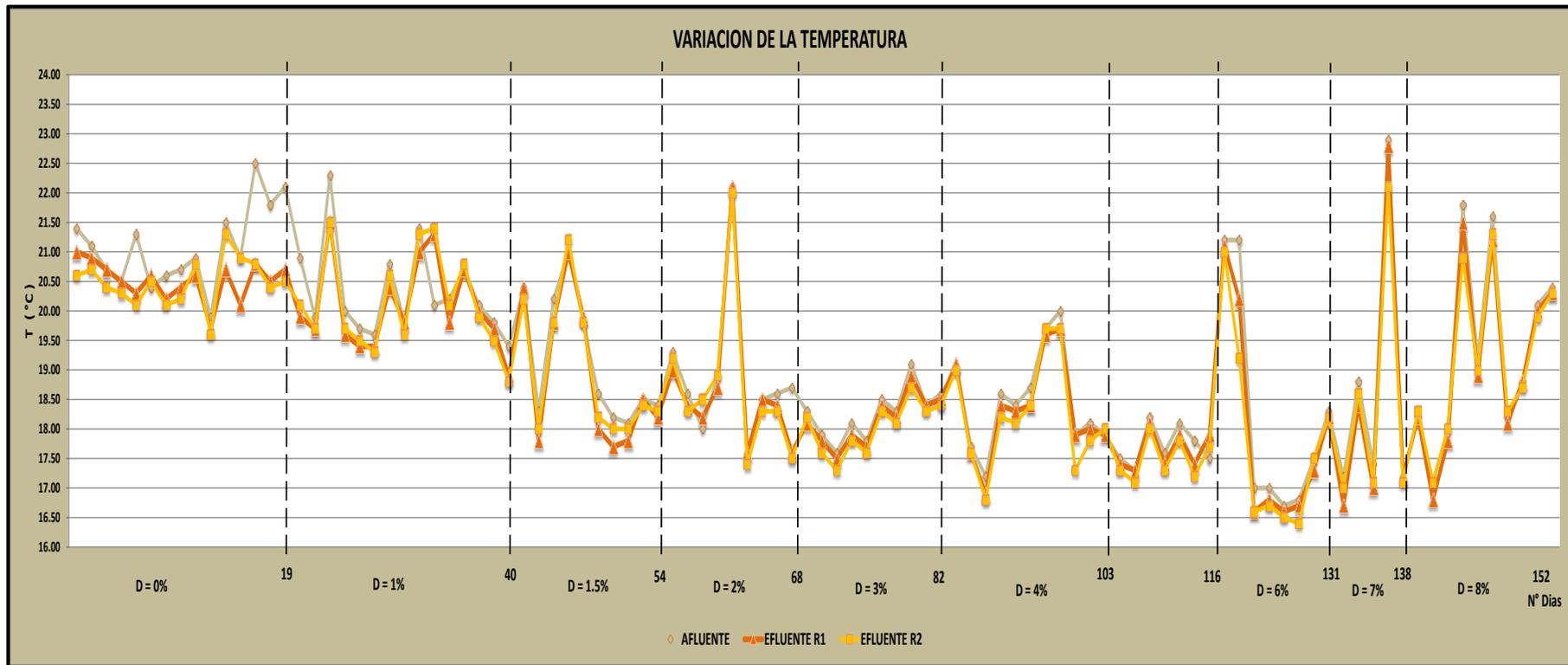
N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	TEMPERATURA (°C)				
			AFLUENTE	REACTOR R1	REACTOR R2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2
1	D = 0%	25-abr	21.40	21.20	21.00	21.00	20.60
2		26-abr	21.10	21.00	20.90	20.90	20.70
3		27-abr	20.70	20.70	20.55	20.70	20.40
4		28-abr	20.50	20.50	20.40	20.50	20.30
5		29-abr	21.30	20.80	20.70	20.30	20.10
8		02-may	20.40	20.50	20.45	20.60	20.50
9		03-may	20.60	20.40	20.35	20.20	20.10
10		04-may	20.70	20.55	20.45	20.40	20.20
11		05-may	20.90	20.75	20.85	20.60	20.80
12		06-may	19.90	19.80	19.75	19.70	19.60
15		09-may	21.50	21.10	21.40	20.70	21.30
16		10-may	20.90	20.50	20.90	20.10	20.90
17		11-may	22.50	21.65	21.65	20.80	20.80
18		12-may	21.80	21.15	21.10	20.50	20.40
19		13-may	22.10	21.40	21.30	20.70	20.50

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	TEMPERATURA (°C)				
			AFLUENTE	REACTOR 1	REACTOR 2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2
22	D = 1%	16-may	20.90	20.40	20.50	19.90	20.10
23		17-may	19.90	19.80	19.80	19.70	19.70
24		18-may	22.30	21.90	21.90	21.50	21.50
25		19-may	20.00	19.80	19.85	19.60	19.70
26		20-may	19.70	19.55	19.60	19.40	19.50
29		23-may	19.60	19.50	19.45	19.40	19.30
30		24-may	20.80	20.60	20.70	20.40	20.60
31		25-may	19.80	19.80	19.70	19.80	19.60
32		26-may	21.40	21.20	21.35	21.00	21.30
33		27-may	20.10	20.70	20.75	21.30	21.40
36		30-may	20.20	20.00	20.15	19.80	20.10
37		31-may	20.70	20.70	20.75	20.70	20.80
38		01-jun	20.10	20.05	20.00	20.00	19.90
39		02-jun	19.80	19.75	19.65	19.70	19.50
40		03-jun	19.40	19.15	19.10	18.90	18.80
43		D = 1.5%	06-jun	20.40	20.40	20.30	20.40
44	07-jun		18.30	18.05	18.15	17.80	18.00
45	08-jun		20.20	20.00	20.00	19.80	19.80
46	09-jun		21.00	21.00	21.10	21.00	21.20
47	10-jun		19.80	19.85	19.80	19.90	19.80
50	13-jun		18.60	18.30	18.40	18.00	18.20
51	14-jun		18.20	17.95	18.10	17.70	18.00
52	15-jun		18.10	17.95	18.05	17.80	18.00
53	16-jun		18.50	18.50	18.45	18.50	18.40
54	17-jun	18.40	18.30	18.35	18.20	18.30	
57	D = 2%	20-jun	19.30	19.15	19.25	19.00	19.20
58		21-jun	18.60	18.50	18.45	18.40	18.30
59		22-jun	18.00	18.10	18.25	18.20	18.50
60		23-jun	18.90	18.80	18.90	18.70	18.90
61		24-jun	22.10	21.90	21.80	22.10	22.00
64		27-jun	17.60	17.60	17.50	17.60	17.40
65		28-jun	18.50	18.50	18.40	18.50	18.30
67		30-jun	18.60	18.50	18.45	18.40	18.30
68	01-jul	18.70	18.15	18.10	17.60	17.50	

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	TEMPERATURA (°C)					
			AFLUENTE	REACTOR R1	REACTOR R2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	
71	D = 3%	04-jul	18.30	18.20	18.25	18.10	18.20	
72		05-jul	17.90	17.85	17.75	17.80	17.60	
73		06-jul	17.60	17.55	17.45	17.50	17.30	
74		07-jul	18.10	18.00	17.95	17.90	17.80	
75		08-jul	17.80	17.75	17.70	17.70	17.60	
78		11-jul	18.50	18.45	18.40	18.40	18.30	
79		12-jul	18.30	18.25	18.20	18.20	18.10	
80		13-jul	19.10	19.00	18.90	18.90	18.70	
81		14-jul	18.40	18.40	18.35	18.40	18.30	
82		15-jul	18.60	18.55	18.50	18.50	18.40	
85		D = 4%	18-jul	19.00	19.05	19.00	19.10	19.00
86			19-jul	17.70	17.65	17.65	17.60	17.60
89	22-jul		17.20	17.05	17.00	16.90	16.80	
92	25-jul		18.60	18.50	18.40	18.40	18.20	
93	26-jul		18.40	18.35	18.25	18.30	18.10	
94	27-jul		18.70	18.55	18.55	18.40	18.40	
99	01-ago		19.70	19.65	19.70	19.60	19.70	
100	02-ago		20.00	19.85	19.85	19.70	19.70	
101	03-ago		17.90	17.90	17.60	17.90	17.30	
102	04-ago		18.10	18.05	17.95	18.00	17.80	
103	05-ago	17.90	17.90	17.95	17.90	18.00		
106	D = 5%	08-ago	17.50	17.45	17.40	17.40	17.30	
107		09-ago	17.30	17.30	17.20	17.30	17.10	
108		10-ago	18.20	18.15	18.10	18.10	18.00	
109		11-ago	17.60	17.50	17.45	17.40	17.30	
110		12-ago	18.10	18.00	17.95	17.90	17.80	
114		16-ago	17.80	17.60	17.50	17.40	17.20	
116	18-ago	17.50	17.70	17.60	17.90	17.70		

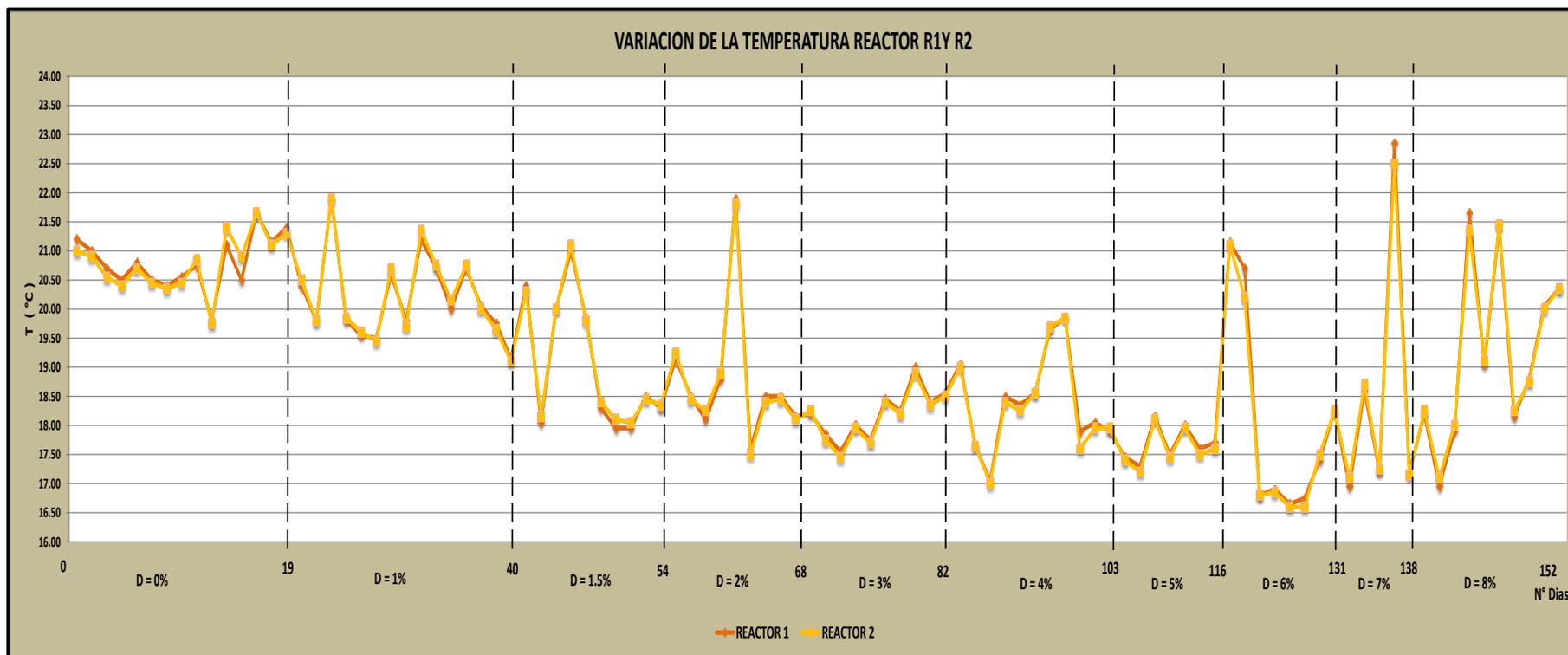
			TEMPERATURA (°C)				
N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	AFLUENTE	REACTOR R1	REACTOR R 2	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2
120	D = 6%	22-ago	21.20	21.15	21.10	21.10	21.00
121		23-ago	21.20	20.70	20.20	20.20	19.20
122		24-ago	17.00	16.80	16.80	16.60	16.60
123		25-ago	17.00	16.90	16.85	16.80	16.70
124		26-ago	16.70	16.65	16.60	16.60	16.50
129		31-ago	16.80	16.75	16.60	16.70	16.40
130		01-sep	17.50	17.40	17.50	17.30	17.50
131		02-sep	18.30	18.25	18.25	18.20	18.20
134		D = 7%	05-sep	17.20	16.95	17.10	16.70
135	06-sep		18.80	18.60	18.70	18.40	18.60
136	07-sep		17.40	17.20	17.25	17.00	17.10
137	08-sep		22.90	22.85	22.50	22.80	22.10
138	09-sep		17.20	17.20	17.15	17.20	17.10
141	D = 8%	12-sep	18.20	18.20	18.25	18.20	18.30
142		13-sep	17.10	16.95	17.10	16.80	17.10
143		14-sep	18.00	17.90	18.00	17.80	18.00
144		15-sep	21.80	21.65	21.35	21.50	20.9
145		16-sep	19.20	19.05	19.10	18.90	19.00
148		19-sep	21.60	21.40	21.45	21.20	21.30
149		20-sep	18.20	18.15	18.25	18.10	18.30
150		21-sep	18.80	18.80	18.75	18.80	18.70
151		22-sep	20.10	20.05	20.00	20.00	19.90
152		23-sep	20.40	20.35	20.35	20.30	20.30

Gráfico 3. Variación de la temperatura – efluente (D: 0%-8%)



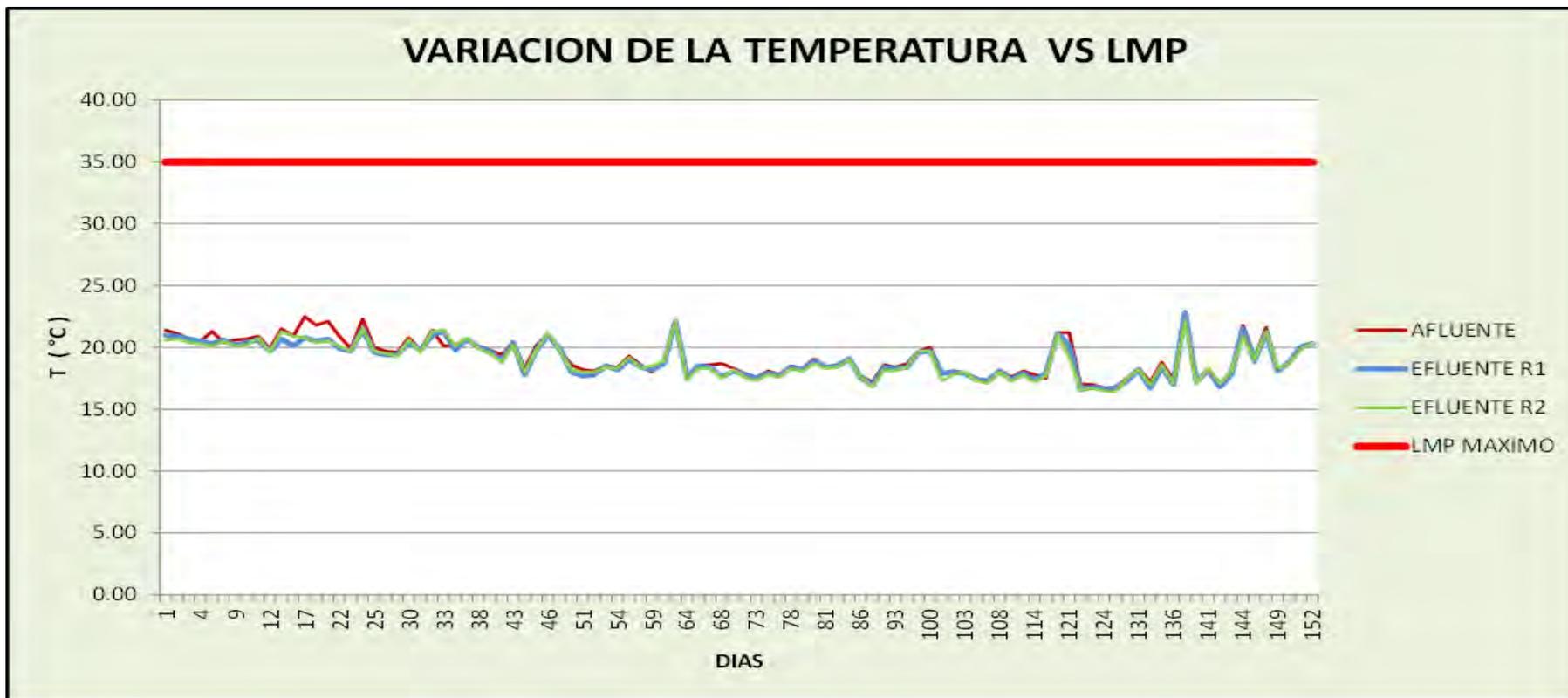
En el Gráfico 3, se observa la variación que mantuvo la temperatura en 3 puntos monitoreados durante la investigación. Durante la primera etapa, el sistema trabaja sin aporte alguno de lixiviado, la temperatura presenta un rango entre 16.70 °C y 22.90 °C para el afluente. En la segunda etapa se adiciona el lixiviado de 1% al 8% en relación al volumen del agua residual, la temperatura presenta un rango entre 16.65 °C y 22.85°C para el Reactor R1, entre 16.60 °C y 22.50 °C para el Reactor R2. En los efluentes presenta un rango entre 16.60 °C y 22.80 °C para Reactor R1 y entre 16.40 °C y 22.10°C para Reactor R2.

Gráfico 4. Variación de la temperatura - reactor (D: 0%-8%)



En el Gráfico 4, se observa que en los reactores la temperatura varía entre 16.60 °C y 22.80 °C para el Reactor R1 y entre 18.60 °C y 22.50 °C para el Reactor R2. Según estos valores de la temperatura, los organismos encargados de la remoción de la materia orgánica, los cuales se encuentran presentes en la zona de aireación, pueden desarrollarse de manera óptima y asegurar una actividad biológica eficiente.

Gráfico 5. Variación de la temperatura vs límite máximo permisible para efluente de PTAR



En el Gráfico 5, se puede observar que el valor de la temperatura permanece por debajo del límite máximo permisible durante todo el periodo de investigación.

7.1.3. Resultados de medición de la turbiedad.

Aunque la turbiedad no es un parámetro común utilizado en aguas residuales, se realizó las mediciones en el afluente y efluentes de los reactores con el fin de obtener los porcentajes de remoción de este parámetro.

A continuación se presenta las tablas y s con las variaciones de los valores obtenidos de la turbiedad en los 3 puntos monitoreados durante la investigación.

Tabla 13. Variación de la turbiedad

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	TURBIEDAD (UNT)				
			AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	% REMOCION R1	% REMOCION R2
1	D = 0%	25-abr	128.00	15.40	17.40	87.97	86.41
2		26-abr	153.00	11.60	20.00	92.42	86.93
3		27-abr	96.00	9.80	18.20	89.79	81.04
4		28-abr	84.00	5.00	13.60	94.05	83.81
5		29-abr	98.00	7.40	9.40	92.45	90.41
8		02-may	105.00	6.40	7.40	93.90	92.95
9		03-may	81.00	6.70	7.60	91.73	90.62
10		04-may	116.00	5.80	5.70	95.00	95.09
11		05-may	140.00	7.80	8.80	94.45	93.71
12		06-may	130.00	10.00	3.10	92.32	97.65
15		09-may	82.00	3.40	5.80	95.89	92.93
16		10-may	135.00	2.40	2.60	98.22	98.07
17		11-may	164.00	3.00	5.00	98.17	96.95
18		12-may	112.00	5.20	3.00	95.36	97.32
19		13-may	146.00	4.60	4.80	96.85	96.71

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	TURBIEDAD (UNT)				
			AFLUENTE	EFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCION	% REMOCION
				R1	R2	R1	R2
22	D = 1%	16-may	153.00	2.16	2.20	98.59	98.56
23		17-may	71.60	1.23	4.24	98.28	94.08
24		18-may	122.00	23.20	21.00	80.98	82.79
25		19-may	148.00	9.27	9.18	93.74	93.8
26		20-may	178.00	3.39	3.96	98.10	97.78
29		23-may	154.00	10.80	5.72	92.99	96.29
30		24-may	201.00	6.00	4.00	97.01	98.01
31		25-may	127.00	11.90	9.73	90.63	92.34
32		26-may	94.00	9.51	10.70	89.88	88.62
33		27-may	147.00	2.82	8.57	98.08	94.17
36		30-may	138.00	12.90	13.5	90.65	90.22
37		31-may	240.00	24.20	18.5	89.92	92.29
38		01-jun	167.00	6.36	8.48	96.19	94.92
39		02-jun	240.50	17.70	21.10	92.64	91.23
40		03-jun	74.00	8.00	5.10	89.19	93.11
43		D = 1.5%	06-jun	184.00	5.49	12.40	97.02
44	07-jun		81.00	7.81	8.52	90.36	89.48
45	08-jun		256.00	8.80	15.70	96.56	93.87
46	09-jun		142.00	8.00	13.10	94.37	90.77
47	10-jun		120.00	11.30	13.30	90.58	88.92
50	13-jun		139.00	14.60	16.40	89.50	88.2
51	14-jun		80.20	4.78	5.80	94.04	92.77
52	15-jun		101.00	5.36	10.50	94.69	89.60
53	16-jun		124.00	6.20	7.40	95.00	94.03
54	17-jun		153.00	5.04	7.00	96.71	95.42

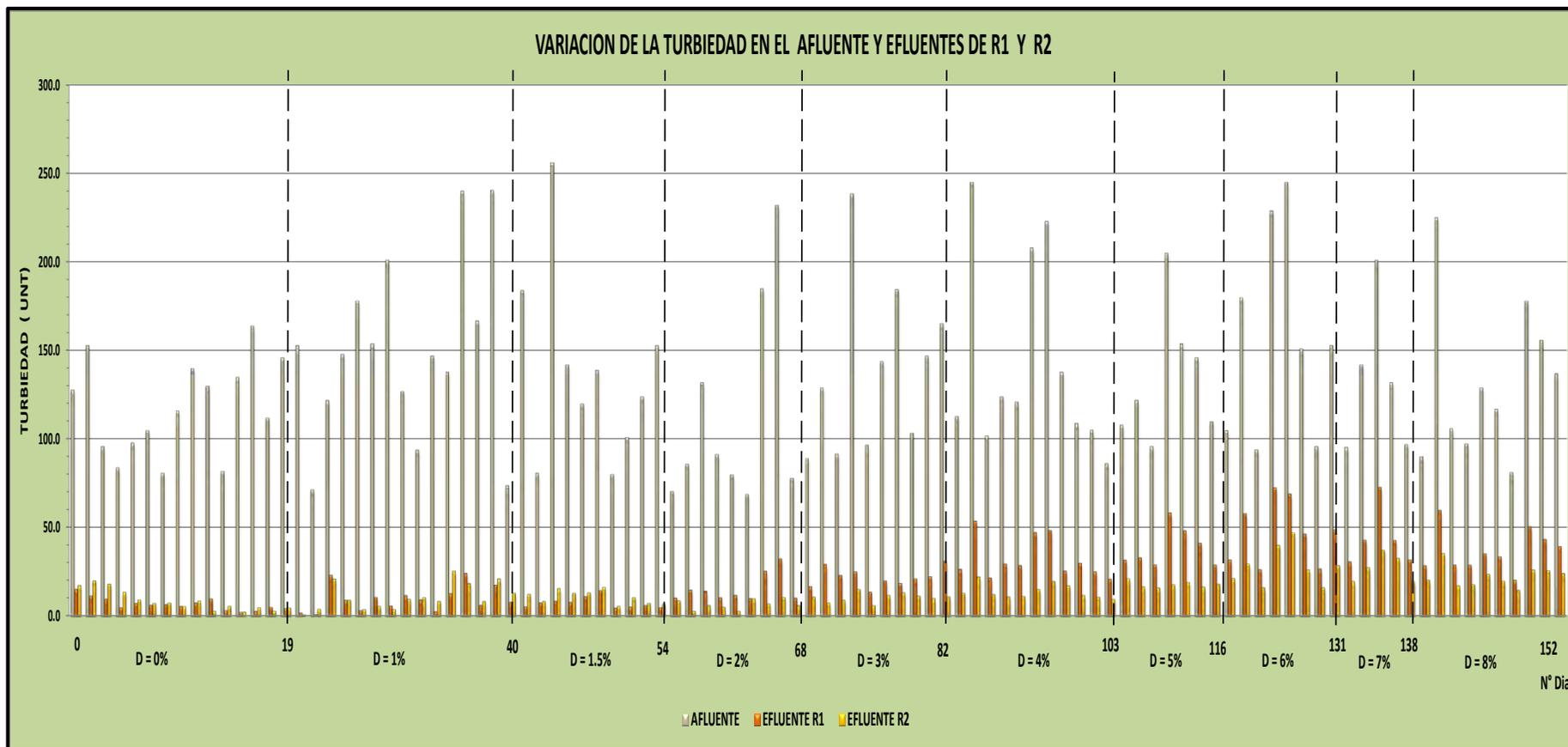
N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	TURBIEDAD (UNT)				
			AFLUENTE	EFLUENTE		% REMOCION	
				R1	R2	R1	R2
57	D = 2%	20-jun	70.60	10.40	8.81	85.27	87.52
58		21-jun	86.00	15.00	3.00	82.56	96.51
59		22-jun	132.00	14.40	6.27	89.09	95.25
60		23-jun	91.50	10.60	5.31	88.42	94.20
61		24-jun	80.00	12.00	3.00	85.00	96.25
64		27-jun	69.00	10.20	10.00	85.22	85.51
65		28-jun	185.00	25.40	7.12	86.27	96.15
67		30-jun	232.00	32.30	10.70	86.08	95.39
68		01-jul	78.00	10.40	6.23	86.67	92.01
71		D = 3%	04-jul	89.40	16.90	10.91	81.10
72	05-jul		129.00	29.20	7.60	77.36	94.11
73	06-jul		91.80	23.00	9.29	74.95	89.89
74	07-jul		238.50	25.10	15.10	89.48	93.67
75	08-jul		96.75	13.80	6.07	85.74	93.73
78	11-jul		144.00	20.10	11.85	86.04	91.77
79	12-jul		184.50	18.60	13.25	89.92	92.82
80	13-jul		103.50	21.10	11.46	79.61	88.93
81	14-jul		147.00	22.30	10.20	84.83	93.06
82	15-jul		165.35	31.05	11.10	81.22	93.29
85	D = 4%	18-jul	113.00	26.50	13.00	76.55	88.5
86		19-jul	245.00	53.40	22.20	78.2	90.94
89		22-jul	102.00	21.60	12.30	78.82	87.94
92		25-jul	124.00	29.50	10.98	76.21	91.15
93		26-jul	121.00	28.70	11.24	76.28	90.71
94		27-jul	208.00	47.00	15.10	77.40	92.74
99		01-ago	223.00	48.20	19.70	78.39	91.17
100		02-ago	138.00	25.60	17.20	81.45	87.54
101		03-ago	109.00	29.80	11.80	72.66	89.17
102		04-ago	105.02	25.10	10.80	76.14	89.73
103	05-ago	86.40	21.00	9.70	75.69	88.77	

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	TURBIEDAD (UNT)				
			AFLUENTE	EFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCION	% REMOCION
				R1	R2	R1	R2
106	D = 5%	08-ago	108.00	31.60	21.10	70.74	80.46
107		09-ago	122.00	33.00	16.65	72.95	86.35
108		10-ago	96.00	28.95	16.00	69.84	83.33
109		11-ago	205.00	58.00	17.84	71.71	91.30
110		12-ago	154.00	48.00	19.12	68.83	87.58
114		16-ago	146.00	41.00	16.45	71.92	88.73
116		18-ago	110.00	28.85	18.20	73.77	83.45
120		D = 6%	22-ago	105.00	31.80	21.27	69.71
121	23-ago		180.00	57.60	29.20	68.00	83.78
122	24-ago		94.10	26.30	16.10	72.05	82.89
123	25-ago		229.00	72.10	39.70	68.52	82.66
124	26-ago		245.00	68.60	46.70	72.00	80.94
129	31-ago		151.00	46.20	26.10	69.40	82.72
130	01-sep		96.00	26.70	16.20	72.19	83.13
131	02-sep		153.00	48.50	28.40	68.30	81.44
134	D = 7%	05-sep	95.60	30.70	19.70	67.89	79.39
135		06-sep	142.00	42.70	27.40	69.93	80.70
136		07-sep	201.00	72.30	37.00	64.03	81.59
137		08-sep	132.00	42.60	32.50	67.73	75.38
138		09-sep	97.10	31.70	19.70	67.35	79.71
141	D = 8%	12-sep	90.30	28.50	20.30	68.44	77.52
142		13-sep	225.00	59.40	35.20	73.60	84.36
143		14-sep	106.00	28.90	17.20	72.74	83.77
144		15-sep	97.50	28.80	17.80	70.46	81.74
145		16-sep	129.00	35.20	23.60	72.71	81.71
148		19-sep	117.00	33.40	19.70	71.45	83.16
149		20-sep	81.20	20.40	14.70	74.88	81.90
150		21-sep	178.00	50.2	26.20	71.80	85.28
151		22-sep	156.00	43.2	25.70	72.31	83.53
152		23-sep	137.00	39.2	24.10	71.39	82.41

Durante todo el periodo de investigación la turbiedad obtuvo una variación comprendida dentro del rango de 69.00 y 256.00 UNT para el Afluente, entre 1.23 y 72.30 UNT para el Efluente del Reactor R1, entre 2.20 y 46.70 UNT para el Efluente Reactor R2.

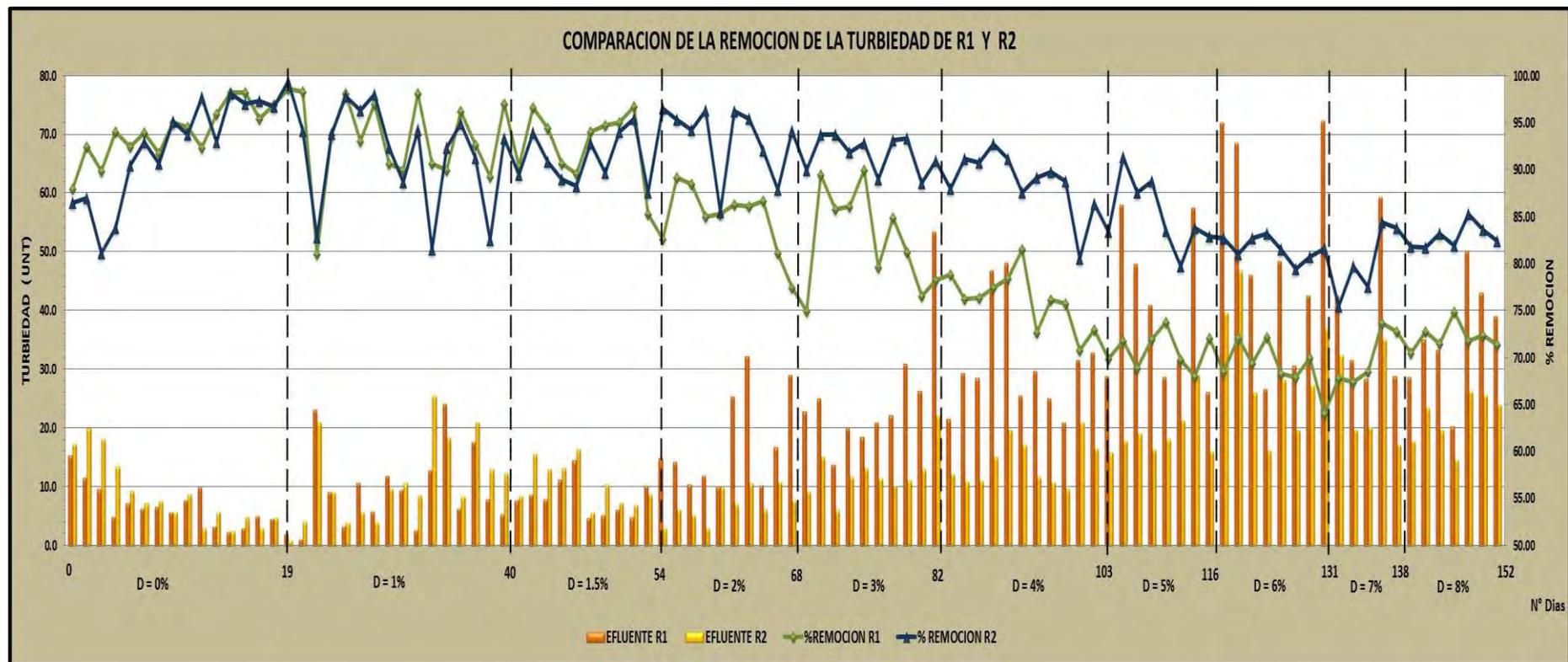
Asimismo se obtuvo un porcentaje de remoción comprendido entre 64.03% y 98.59% para Efluente del Reactor R1 y entre 75.38% y 98.56% para el Efluente Reactor R2.

Gráfico 6. Variación de la turbiedad al incrementar dilución (D: 0%-8%)



En el Gráfico 6, se presenta la variación de los valores que mantuvo la turbiedad en los 3 puntos monitoreados durante la investigación.

Gráfico 7. Variación de la remoción de la turbiedad al incrementar la dilución (D: 0%-8%)



Durante el periodo inicial y adaptación del sistema al aporte del lixiviado se puede apreciar que ambos reactores presentan un porcentaje similar de remoción de la turbiedad, alcanzando valores máximos de 98.59% y 99.33% de remoción para el Reactor R1 y el Reactor R2 respectivamente. Estos valores medidos son indicativos que el sistema se encontró trabajando de manera óptima. Posteriormente con el aumento del aporte del lixiviado se hace se hace notorio que el funcionamiento en ambos sistemas sufrió una leve variación por lo cual la eficiencia en la remoción de la turbiedad va disminuyendo en relación directa al aumento del lixiviado.

7.1.4. Resultados de medición de la conductividad.

Las soluciones de muchos ácidos, bases y sales inorgánicas son relativamente buenos conductores, los cuales se encuentra con normalidad en los lixiviados de relleno sanitario municipal. La diferencia entre afluente y efluente no es muy marcada con referente a este parámetro; en cambio entre procesos, el reactor R2 siempre mantuvo un mejor margen de remoción que el reactor R1.

Tabla 14. Variación de la conductividad (D = 0%)

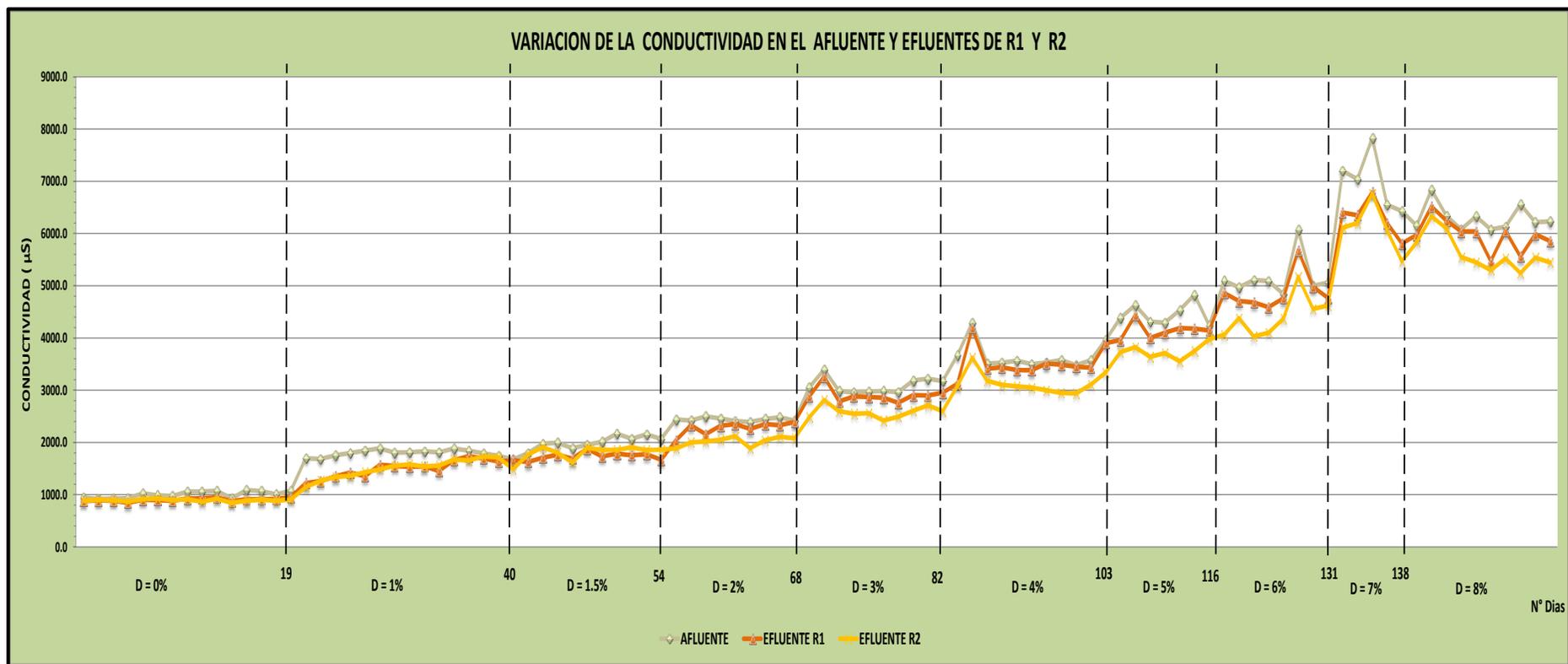
N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	CONDUCTIVIDAD (μ S)				
			AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	% REMOCION R1	% REMOCION R2
1	D = 0%	25-abr	945	878	884	7.09	6.46
2		26-abr	918	892	905	2.83	1.42
3		27-abr	927	885	894	4.53	3.56
4		28-abr	933	846	872	9.32	6.54
5		29-abr	1024	902	913	11.91	10.84
8		02-may	988	897	927	9.21	6.17
9		03-may	974	886	895	9.03	8.11
10		04-may	1058	924	915	12.67	13.52
11		05-may	1062	932	864	12.24	18.64
12		06-may	1075	948	926	11.81	13.86
15		09-may	927	874	844	5.72	8.95
16		10-may	1088	914	885	15.99	18.66
17		11-may	1066	912	905	14.45	15.10
18		12-may	1008	916	884	9.13	12.30
19		13-may	1075	952	906	11.44	15.72

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	CONDUCTIVIDAD (μ S)				
			AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	% REMOCION R1	% REMOCION R2
22	D = 1%	16-may	1697	1222	1142	27.99	32.7
23		17-may	1684	1262	1267	25.06	24.76
24		18-may	1754	1350	1338	23.03	23.72
25		19-may	1797	1424	1360	20.76	24.32
26		20-may	1844	1353	1428	26.63	22.56
29		23-may	1885	1571	1481	16.66	21.43
30		24-may	1805	1551	1555	14.07	13.85
31		25-may	1813	1532	1578	15.50	12.96
32		26-may	1830	1543	1541	15.68	15.79
33		27-may	1813	1454	1557	19.80	14.12
36		30-may	1884	1662	1672	11.78	11.25
37		31-may	1844	1737	1653	5.80	10.36
38		01-jun	1790	1694	1732	5.36	3.24
39		02-jun	1742	1638	1714	5.97	1.61
40		03-jun	1675	1659	1489	0.96	11.10
43		D = 1.5%	06-jun	1793	1624	1764	9.43
44	07-jun		1976	1707	1910	13.61	3.34
45	08-jun		1993	1765	1806	11.44	9.38
46	09-jun		1889	1689	1615	10.59	14.51
47	10-jun		1954	1881	1902	3.74	2.66
50	13-jun		2011	1734	1854	13.77	7.81
51	14-jun		2170	1788	1858	17.60	14.38
52	15-jun		2070	1756	1904	15.17	8.02
53	16-jun		2156	1775	1854	17.67	14.01
54	17-jun		2070	1670	1861	19.32	10.10
57	D = 2%	20-jun	2440	2040	1886	16.39	22.70
58		21-jun	2420	2330	2000	3.72	17.36
59		22-jun	2500	2160	2020	13.60	19.2
60		23-jun	2460	2320	2050	5.69	16.67
61		24-jun	2410	2350	2120	2.49	12.03
64		27-jun	2390	2260	1892	5.44	20.84
65		28-jun	2450	2350	2040	4.08	16.73
67		30-jun	2480	2330	2110	6.05	14.92
68		01-jul	2420	2390	2080	1.24	14.05

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	CONDUCTIVIDAD (μ S)				
			AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	% REMOCION R1	% REMOCION R2
71	D = 3%	04-jul	3055	2881	2483	5.70	18.72
72		05-jul	3395	3260	2810	3.98	17.23
73		06-jul	2986	2785	2600	6.73	12.93
74		07-jul	2955	2880	2550	2.54	13.71
75		08-jul	2975	2869	2560	3.56	13.95
78		11-jul	2985	2855	2421	4.36	18.89
79		12-jul	2965	2760	2490	6.91	16.02
80		13-jul	3185	2905	2607	8.79	18.15
81		14-jul	3220	2900	2710	9.94	15.84
82		15-jul	3175	2954	2597	6.96	18.20
85		D = 4%	18-jul	3670	3123	3080	14.90
86	19-jul		4290	4190	3620	2.33	15.62
89	22-jul		3511	3410	3180	2.88	9.43
92	25-jul		3524	3440	3104	2.38	11.92
93	26-jul		3563	3387	3073	4.94	13.75
94	27-jul		3500	3380	3050	3.43	12.86
99	01-ago		3530	3510	3000	0.57	15.01
100	02-ago		3580	3490	2950	2.51	17.60
101	03-ago		3480	3450	2940	0.86	15.52
102	04-ago		3575	3432	3105	4.00	13.15
103	05-ago	3960	3900	3340	1.52	15.66	
106	D = 5%	08-ago	4382	3961	3730	9.61	14.88
107		09-ago	4630	4435	3825	4.21	17.39
108		10-ago	4311	4000	3640	7.21	15.56
109		11-ago	4295	4100	3710	4.54	13.62
110		12-ago	4534	4190	3555	7.59	21.59
114		16-ago	4825	4180	3750	13.37	22.28
116		18-ago	4240	4142	3980	2.31	6.13

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	CONDUCTIVIDAD (μ S)				
			AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	% REMOCION R1	% REMOCION R2
120	D = 6%	22-ago	5094	4864	4060	4.52	20.30
121		23-ago	4970	4710	4380	5.23	11.87
122		24-ago	5110	4680	4030	8.41	21.14
123		25-ago	5090	4590	4100	9.82	19.45
124		26-ago	4840	4760	4370	1.65	9.71
129		31-ago	6070	5680	5170	6.43	14.83
130		01-sep	5000	4980	4560	0.40	8.80
131		02-sep	5060	4770	4620	5.73	8.70
134		D = 7%	05-sep	7200	6400	6110	11.11
135	06-sep		7040	6350	6200	9.80	11.93
136	07-sep		7830	6790	6760	13.28	13.67
137	08-sep		6550	6200	6060	5.34	7.48
138	09-sep		6430	5810	5470	9.64	14.93
141	D = 8%	12-sep	6150	5970	5830	2.93	5.2
142		13-sep	6840	6520	6330	4.68	7.46
143		14-sep	6340	6245	6100	1.50	3.79
144		15-sep	6080	6040	5550	0.66	8.72
145		16-sep	6330	6040	5450	4.58	13.90
148		19-sep	6080	5470	5300	10.03	12.83
149		20-sep	6130	6050	5520	1.31	9.95
150		21-sep	6560	5555	5240	15.32	20.12
151		22-sep	6215	5984	5540	3.72	10.86
152		23-sep	6231	5857	5445	6.00	12.61

Gráfico 8. Variación de la conductividad al incrementar la dilución (D: 0%-8%)



En el Gráfico 8 se observa la variación que mantuvo la conductividad en los 3 puntos monitoreados durante la investigación. Durante la primera etapa en la cual el sistema trabaja sin aporte alguno de Lixiviado, los valores de la conductividad en el afluente eran prácticamente constante, a medida que se adiciona el lixiviado se observa un incremento de manera proporcional en el afluente y los efluentes de ambos reactores, con respecto a este parámetro.

La variación de este parámetro en ambos reactores nos es de consideración con respecto al afluente

7.1.5. Resultados en la medición de los sólidos suspendidos.

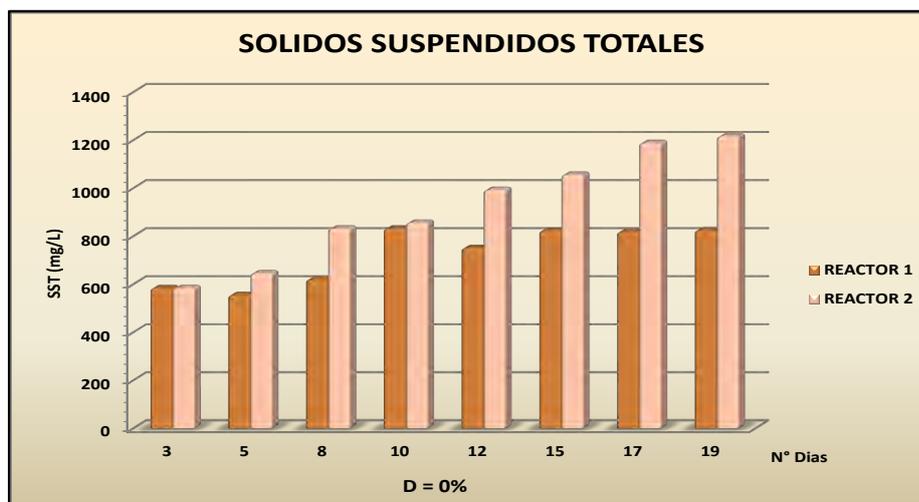
Durante la investigación, se determinó periódicamente la concentración de los sólidos suspendidos volátiles en la zona de aireación de cada reactor; en el reactor R1, se realizó con el objetivo de obtener la variación de tal parámetro; mientras que en el reactor R2, lo primordial era mantener una concentración de sólidos suspendidos volátiles para un valor por encima de 1000mg/L.

En las siguientes tablas se puede ver las variaciones de la concentración de sólidos suspendidos, en función al tiempo y del incremento de la concentración de lixiviado en el sustrato.

Tabla 15. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 0%)

N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
3	27-abr	D = 0%	259.00	325.00	584.00	208.00	376.00	584.00
5	29-abr		193.00	362.00	555.00	325.00	321.00	646.00
8	02-may		188.00	432.00	620.00	296.00	536.00	832.00
10	04-may		372.00	460.00	832.00	216.00	640.00	856.00
12	06-may		324.00	427.00	751.00	345.00	648.00	993.00
15	09-may		303.00	520.00	823.00	364.00	692.00	1056.00
17	11-may		276.00	542.00	818.00	328.00	860.00	1188.00
19	13-may		334.00	491.00	825.00	372.00	844.00	1216.00

Gráfico 9. Variación de los SST, (D = 0%)



En el Gráfico 9, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 555.00 y 832.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 584.00 y 1216.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 10. Variación de los SSV (D = 0%)

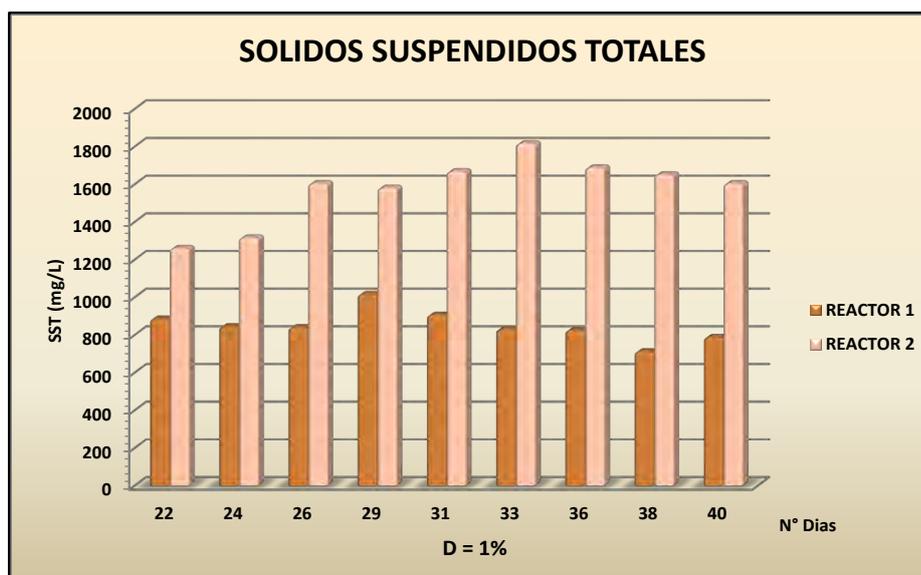


En el Gráfico 10, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 325.00 y 542.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 321.00 y 860.00 mg/L para el reactor R2.

Tabla 16. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 1%)

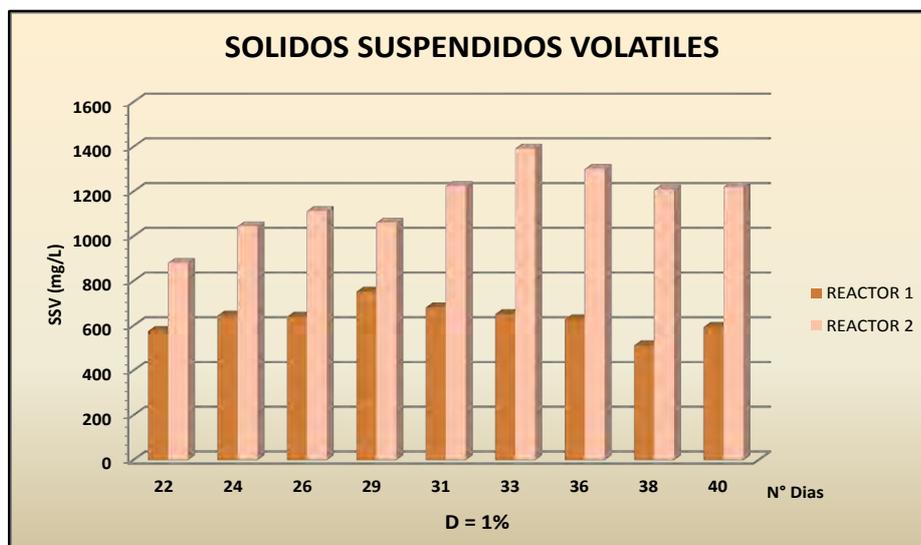
N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
22	16-may	D = 1%	310.00	576.00	886.00	380.00	880.00	1260.00
24	18-may		200.00	645.00	845.00	272.00	1044.00	1316.00
26	20-may		200.00	640.00	840.00	492.00	1112.00	1604.00
29	23-may		264.00	752.00	1016.00	520.00	1060.00	1580.00
31	25-may		224.00	682.00	906.00	444.00	1224.00	1668.00
33	27-may		178.00	652.00	830.00	424.00	1392.00	1816.00
36	30-may		197.00	628.00	825.00	388.00	1300.00	1688.00
38	01-jun		200.00	512.00	712.00	444.00	1208.00	1652.00
40	03-jun		194.00	594.00	788.00	384.00	1220.00	1604.00

Gráfico 11. Variación de los SST, (D = 1%)



En el Gráfico 11, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 712.00 y 1016.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1260.00 y 1816.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 12. Variación de los SSV, (D = 1%)

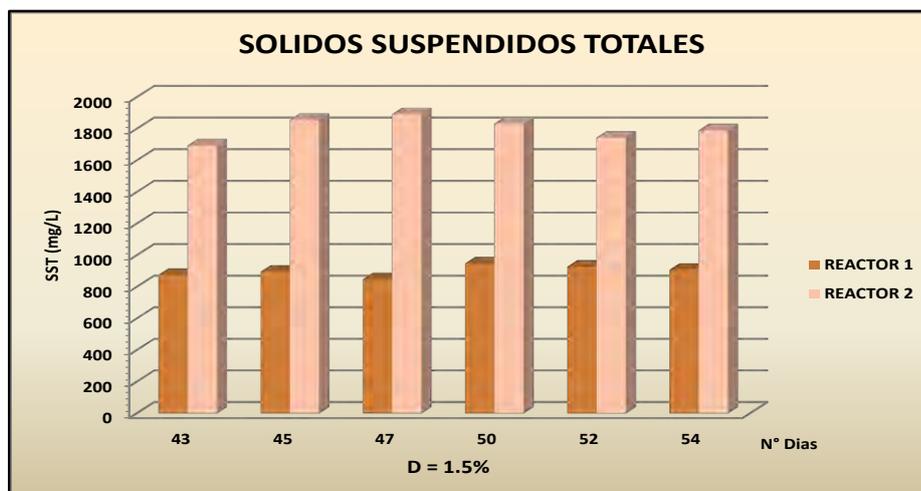


En el Gráfico 12, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 512.00 y 752.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 880.00 y 1392.00 mg/L para el reactor R2.

Tabla 17. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 1.5%)

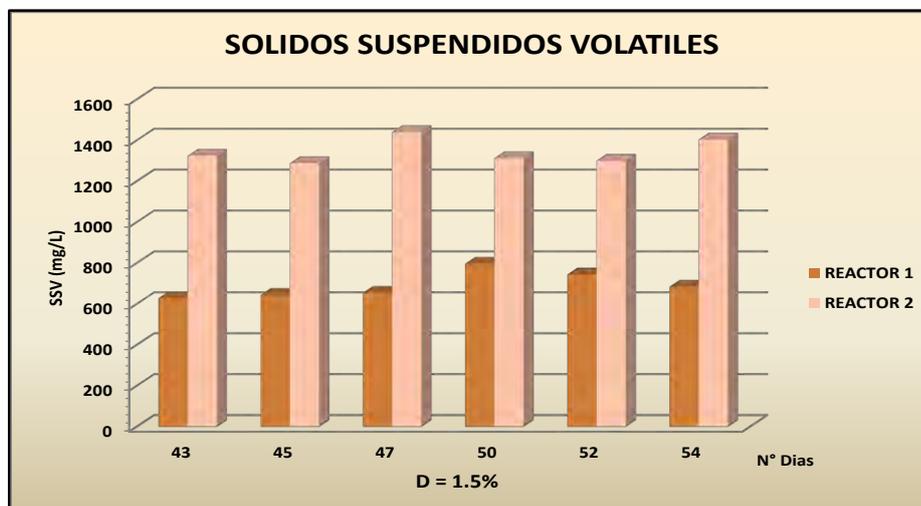
N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
43	06-jun	D = 1.5%	248.00	628.00	876.00	370.00	1324.00	1694.00
45	08-jun		252.00	644.00	896.00	568.00	1288.00	1856.00
47	10-jun		194.00	654.00	848.00	452.00	1440.00	1892.00
50	13-jun		152.00	796.00	948.00	520.00	1312.00	1832.00
52	15-jun		184.00	744.00	928.00	444.00	1300.00	1744.00
54	17-jun		224.00	684.00	908.00	386.00	1404.00	1790.00

Gráfico 13. Variación de los SST, (D = 1.5%)



En el Gráfico 13, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 848.00 y 948.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1694.00 y 1892.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 14. Variación de los SSV, (D = 1.5%)

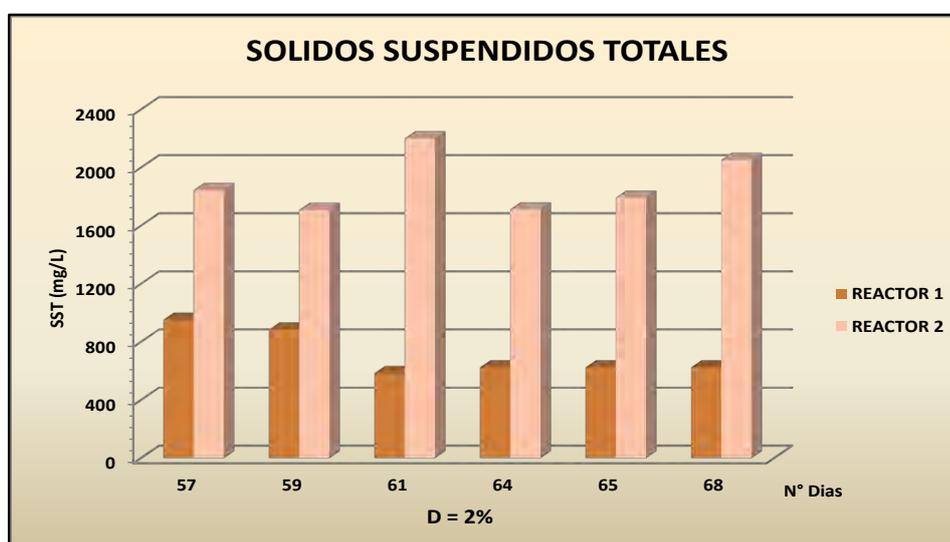


En el Gráfico 14, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 628.00 y 796.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1288.00 y 1440.00 mg/L para el reactor R2.

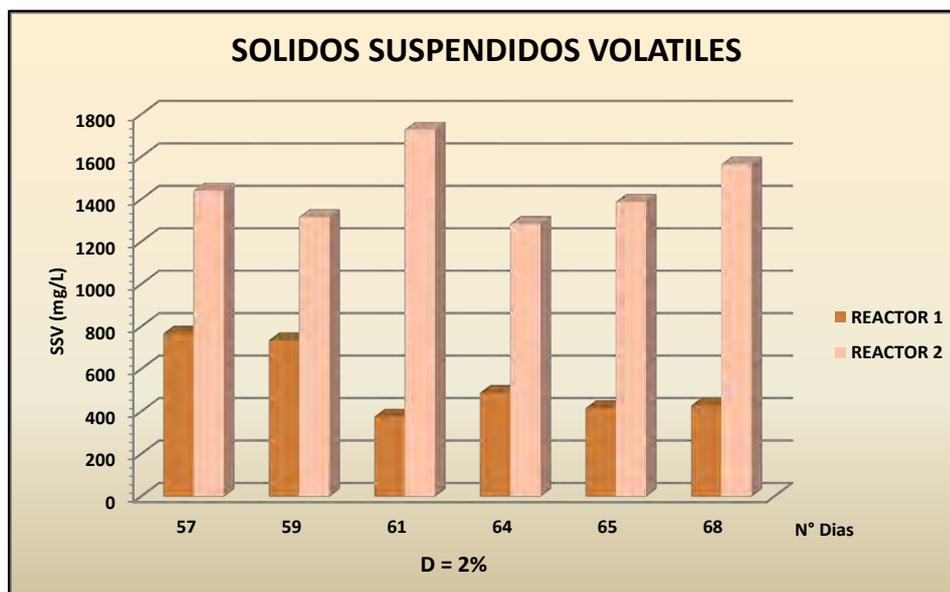
Tabla 18. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 2%)

N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
57	20-jun	D = 2%	184.00	768.00	952.00	404.00	1440.00	1844.00
59	22-jun		148.00	736.00	884.00	392.00	1316.00	1708.00
61	24-jun		208.00	376.00	584.00	472.00	1728.00	2200.00
64	27-jun		136.00	488.00	624.00	428.00	1284.00	1712.00
65	28-jun		208.00	416.00	624.00	404.00	1388.00	1792.00
68	01-jul		196.00	428.00	624.00	488.00	1564.00	2052.00

Gráfico 15. Variación de los SST, (D = 2%)



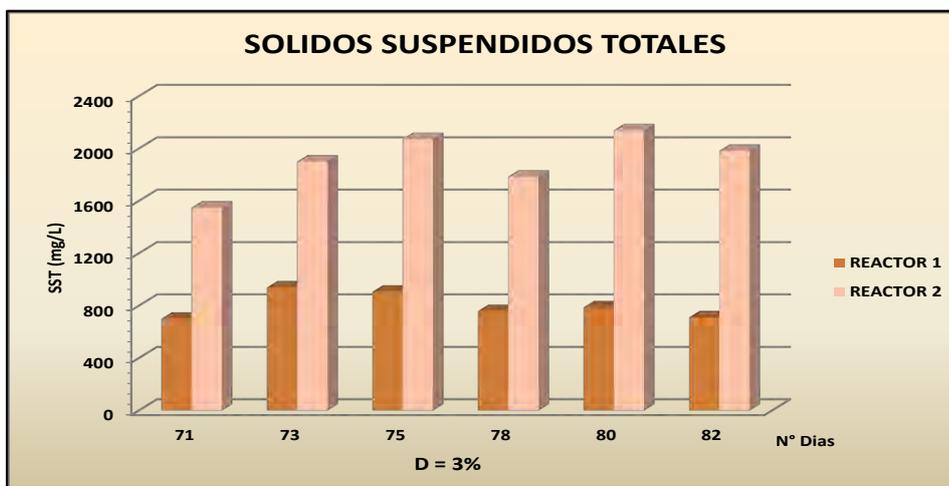
En el Gráfico 15, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 584.00 y 952.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1708.00 y 2200.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 16. Variación de los SSV, (D = 2%)

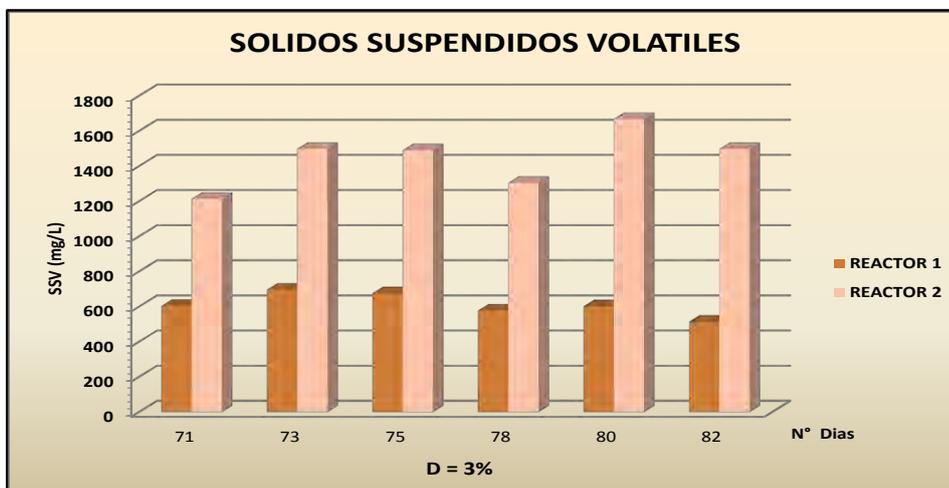
En el Gráfico 16, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 376.00 y 768.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1284.00 y 1728.00 mg/L para el reactor R2.

Tabla 19. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 3%)

N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
71	04-jul	D = 3%	96.00	604.00	700.00	334.00	1214.00	1548.00
73	06-jul		242.00	696.00	938.00	402.00	1498.00	1900.00
75	08-jul		230.00	676.00	906.00	582.00	1490.00	2072.00
78	11-jul		180.00	578.00	758.00	480.00	1304.00	1784.00
80	13-jul		184.00	602.00	786.00	470.00	1668.00	2138.00
82	15-jul		196.00	514.00	710.00	484.00	1497.00	1981.00

Gráfico 17. Variación de los SST, (D = 3%)

En el Gráfico 17, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 700.00 y 938.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1548.00 y 2138.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 18. Variación de los SSV, (D = 3%)

En el Gráfico 18, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 514.00 y 696.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1214.00 y 1668.00 mg/L para el reactor R2.

Tabla 20. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 4%)

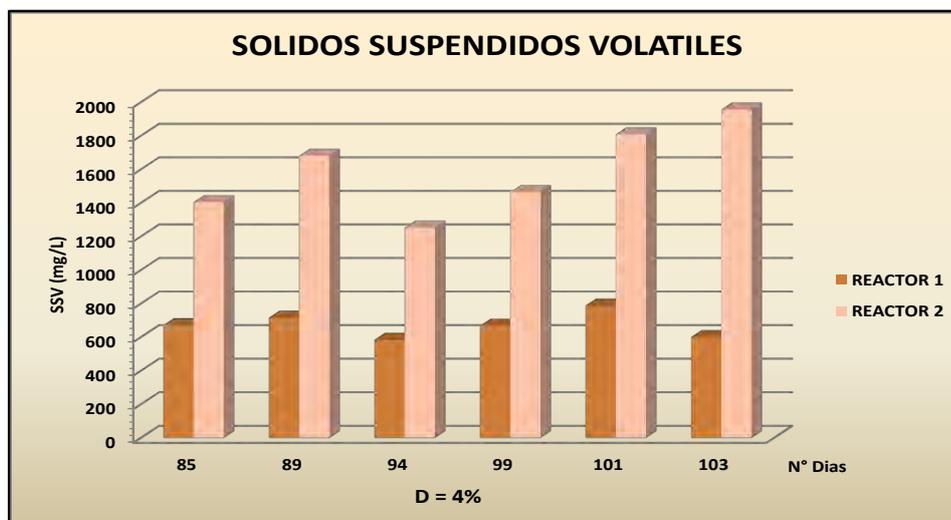
N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
85	18-jul	D = 4%	244.00	672.00	916.00	572.00	1404.00	1976.00
89	22-jul		276.00	716.00	992.00	412.00	1680.00	2092.00
94	27-jul		276.00	584.00	860.00	692.00	1252.00	1944.00
99	01-ago		224.00	668.00	892.00	532.00	1464.00	1996.00
101	03-ago		160.00	788.00	948.00	572.00	1808.00	2380.00
103	05-ago		196.00	600.00	796.00	480.00	1956.00	2436.00

Gráfico 19. Variación de los SST, (D = 4%)



En el Gráfico 19, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 796.00 y 992.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1944.00 y 2436.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 20. Variación de los SSV, (D = 4%)

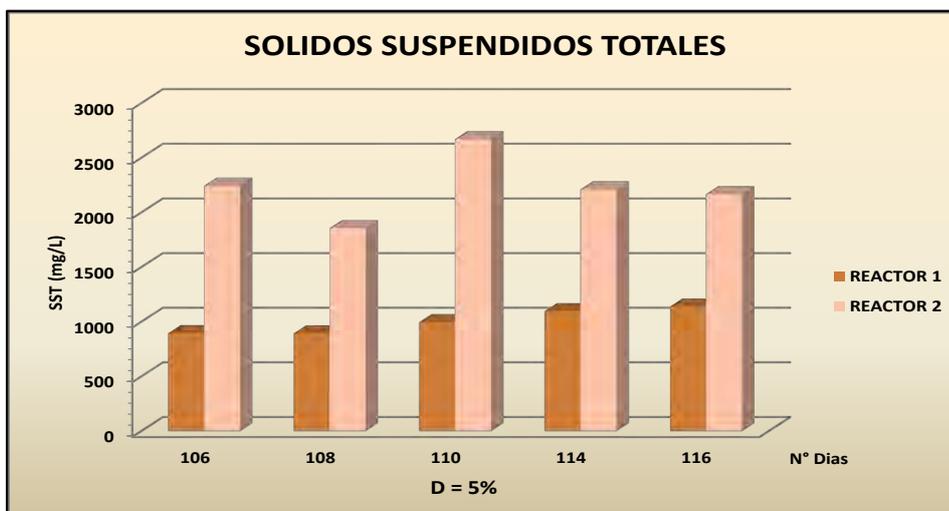


En el Gráfico 20, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 584.00 y 788.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1252.00 y 1956.00 mg/L para el reactor R2.

Tabla 21. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 5%)

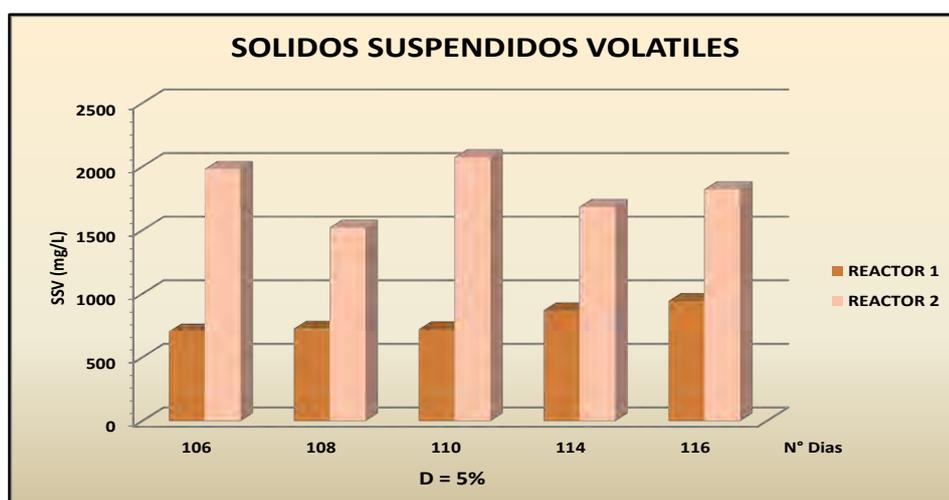
N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
106	08-ago	D = 5%	190.00	704.00	894.00	260.00	1982.00	2242.00
108	10-ago		166.00	726.00	892.00	334.00	1521.00	1855.00
110	12-ago		273.00	721.00	994.00	596.00	2074.00	2670.00
114	16-ago		226.00	870.00	1096.00	526.00	1684.00	2210.00
116	18-ago		194.00	944.00	1138.00	344.00	1822.00	2166.00

Gráfico 21. Variación de los SST, (D = 5%)



En el Gráfico 21, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 892.00 y 1138.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1855.00 y 2670.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 22. Variación de los SSV, (D = 5%)



En el Gráfico 22, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 704.00 y 944.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1521.00 y 2074.00 mg/L para el reactor R2.

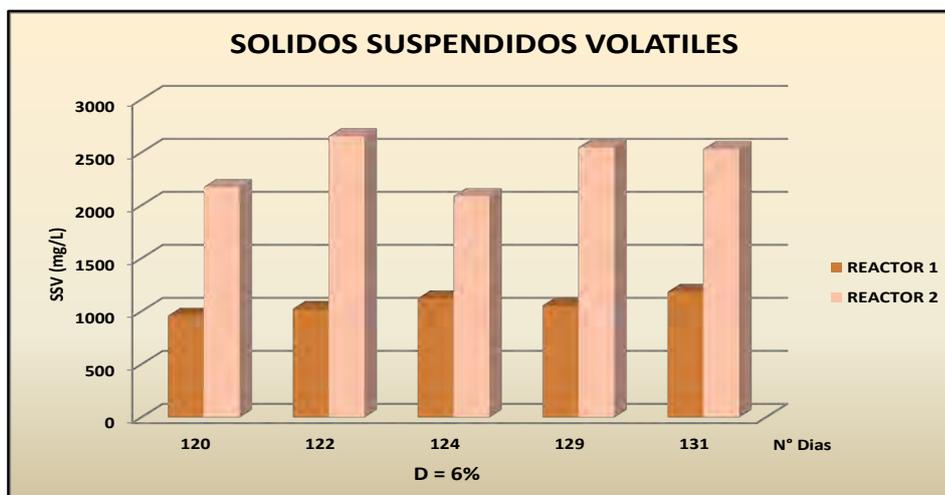
Tabla 22. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 6%)

N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
120	22-ago	D = 6%	307.00	959.00	1266.00	518.00	2174.00	2692.00
122	24-ago		110.00	1024.00	1134.00	460.00	2654.00	3114.00
124	26-ago		188.00	1124.00	1312.00	452.00	2088.00	2540.00
129	31-ago		112.00	1056.00	1168.00	544.00	2548.00	3092.00
131	02-sep		176.00	1184.00	1360.00	712.00	2532.00	3244.00

Gráfico 23. Variación de los SST, (D = 6%)



En el Gráfico 23, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 1134.00 y 1360.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 2540.00 y 3244.00 mg/L para el reactor R2.

Gráfico 24. Variación de los SSV, (D = 6%)

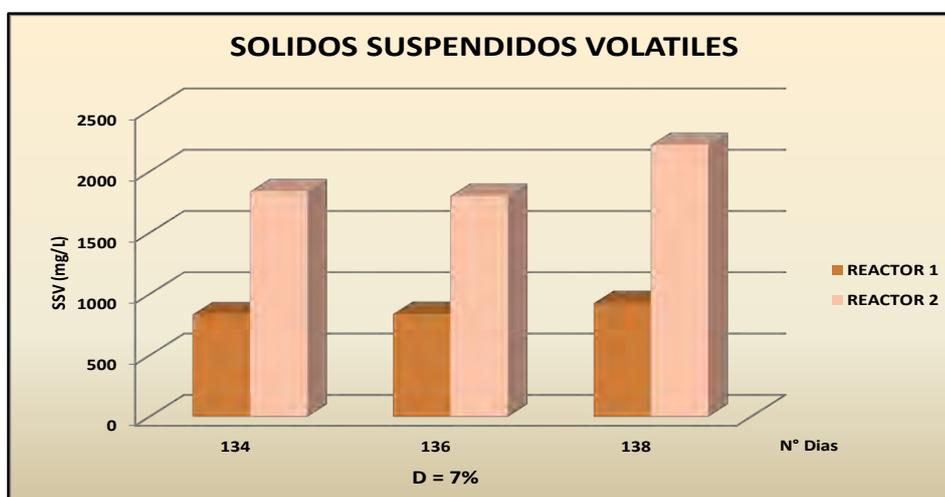
En el Gráfico 24, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 959.00 y 1184.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 2088.00 y 2654.00 mg/L para el reactor R2.

Tabla 23. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 7%)

N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
134	05-sep	D = 7%	168.00	832.00	1000.00	416.00	1836.00	2252.00
136	07-sep		172.00	836.00	1008.00	508.00	1800.00	2308.00
138	09-sep		140.00	924.00	1064.00	564.00	2216.00	2780.00

Gráfico 25. Variación de los SST, (D = 7%)

En el Gráfico 25, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 1000.00 y 1064.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 2252.00 y 2780.00 mg/L para el reactor R2.

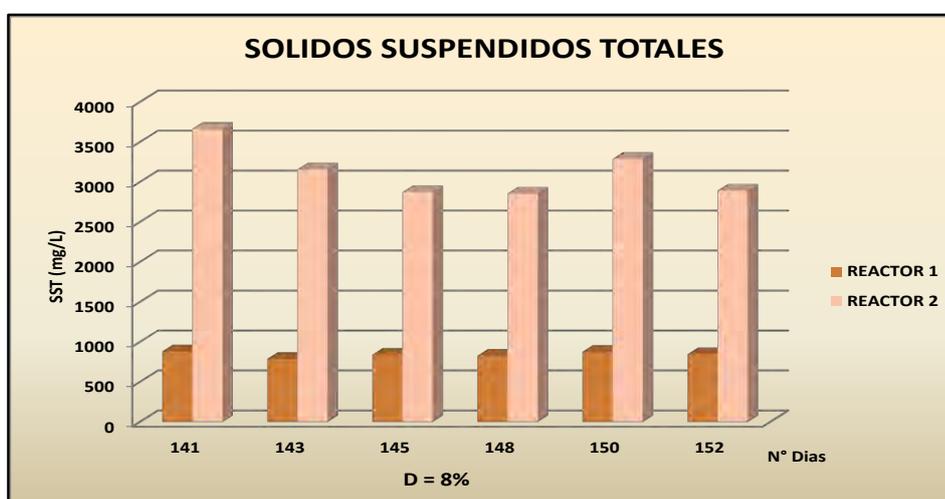
Gráfico 26. Variación de los SSV, (D = 7%)

En el Gráfico 26, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 832.00 y 924.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 1800.00 y 2216.00 mg/L para el reactor R2.

Tabla 24. Variación de los sólidos suspendidos, (D = 8%)

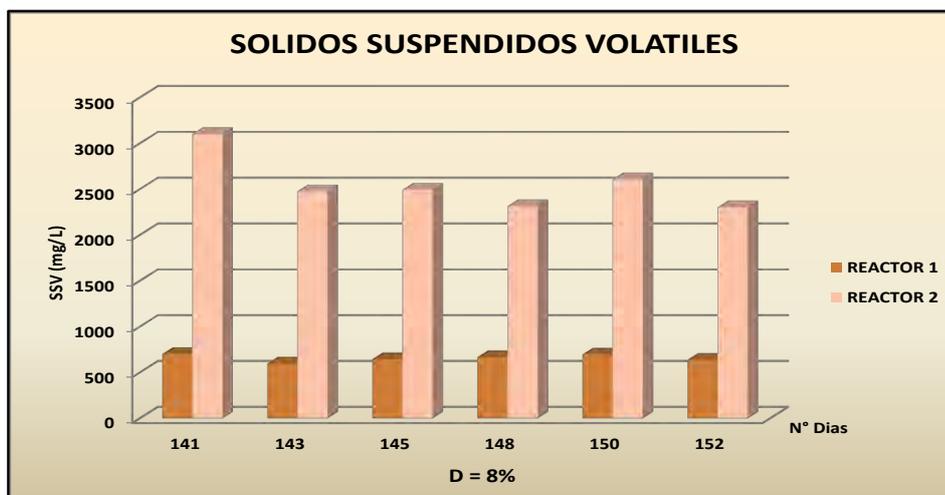
N° DIA	FECHA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 1			SOLIDOS SUSPENDIDOS (mg/L) REACTOR 2		
			FIJOS	VOLATILES	TOTALES	FIJOS	VOLATILES	TOTALES
141	12-sep	D = 8%	180.00	700.00	880.00	564.00	3100.00	3664.00
143	14-sep		192.00	596.00	788.00	680.00	2476.00	3156.00
145	16-sep		196.00	644.00	840.00	380.00	2492.00	2872.00
148	19-sep		160.00	666.00	826.00	542.00	2312.00	2854.00
150	21-sep		180.00	696.00	876.00	684.00	2604.00	3288.00
152	23-sep		208.00	637.00	845.00	592.00	2300.00	2892.00

Gráfico 27. Variación de los SST, (D = 8%)



En el Gráfico 27, la concentración de sólidos suspendidos totales presenta una variación dentro del rango de 788.00 y 880.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 2854.00 y 3664.00 mg/L para el reactor R2

Gráfico 28. Variación de los SSV, (D = 8%)



En el Gráfico 28, la concentración de sólidos suspendidos volátiles presenta una variación dentro del rango de 596.00 y 700.00 mg/L para el reactor R1 y un rango entre 2300.00 y 3100.00 mg/L para el reactor R2.

Durante todo el periodo de investigación los Solidos Suspendidos Totales obtuvo una variación comprendida dentro del rango de 555 mg/L y 1360 mg/L para el Reactor R1 y entre 584 mg/L y 3664 mg/L para el Reactor R2.

Asimismo los Solidos Suspendidos Volátiles obtuvo una variación comprendida dentro del rango de 325 mg/L y 1184 mg/L para el Reactor R1 y entre 321 mg/L y 3100 mg/L para el Reactor R2.

Gráfico 29. Variaciones de los SST entre R1 y R2 al incrementar la dilución (D: 0%-8%)

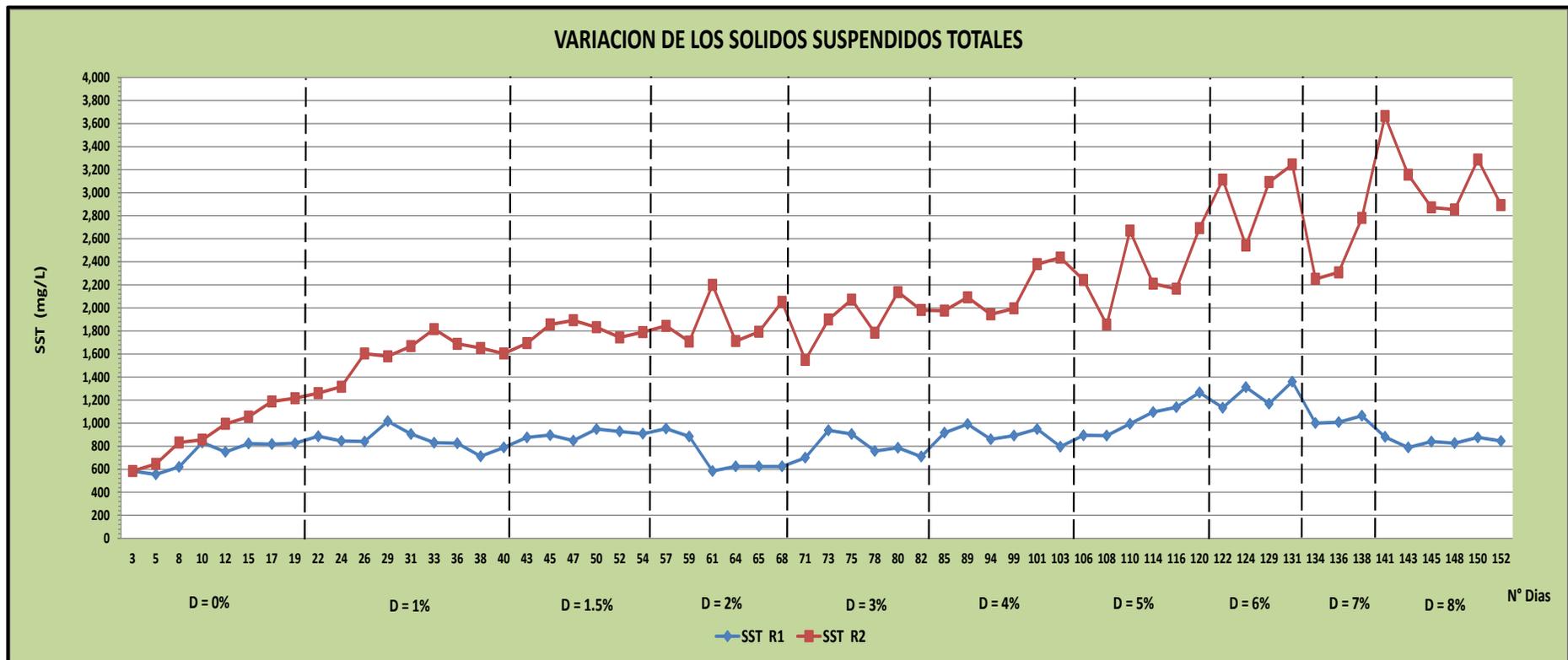
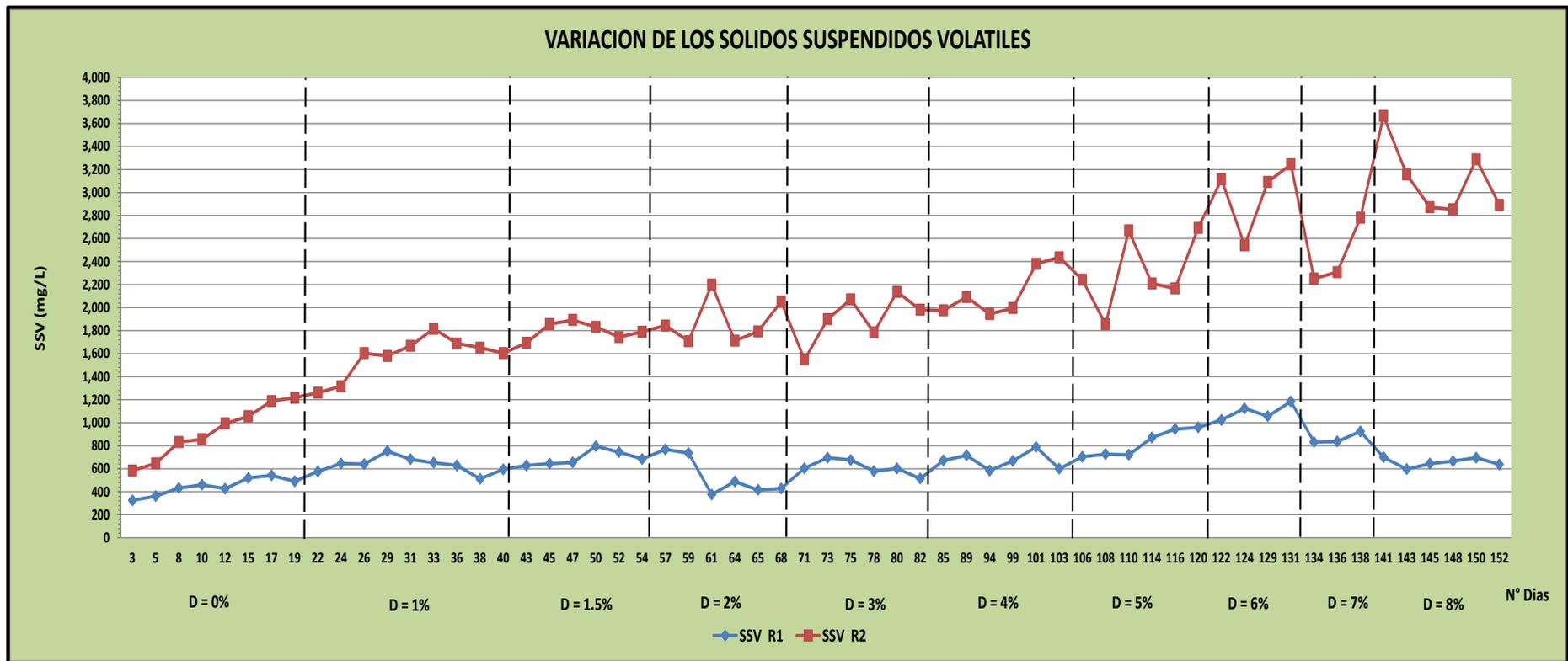


Gráfico 30. Variaciones de los SSV entre R1 y R2 al incrementar la dilución (D: 0%-8%)



7.1.6. Variación de la DBO₅ del Reactor R1 y Reactor R2.

Para determinar la estabilidad de los reactores de lodos activados se realizaron pruebas de caracterización durante varios días, manteniendo caudal constante y observando que para la condición de entrada, el comportamiento de la remoción de la DBO₅, principalmente, no presente altas variaciones hasta encontrar una remoción constante, encontrándose los valores que se presentan en las tablas a continuación:

Tabla 25. Variación de la DBO₅, (D = 0%-8%)

Nº DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	% REMOCION R1	% REMOCION R2
			DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅		
4	0%	28-abr	80.00	9.40	10.20	88.25	87.25
11		05-may	135.80	18.85	16.45	86.12	87.89
17		11-may	106.40	2.80	2.10	97.37	98.03
19		13-may	125.60	4.60	3.20	96.34	97.45
24	1%	18-may	135.00	19.40	10.40	85.63	92.3
26		20-may	114.60	2.35	3.85	97.95	96.64
31		25-may	163.00	16.30	12.70	90.00	92.21
33		27-may	150.000	6.45	5.75	95.70	96.17
38		01-jun	190.00	7.10	6.80	96.26	96.42
40		03-jun	196.00	8.60	6.70	95.61	96.58
45	1.50%	08-jun	194.40	21.80	18.80	88.79	90.33
47		10-jun	181.00	13.65	9.30	92.46	94.86
52		15-jun	204.00	18.38	6.90	90.99	96.62
54		17-jun	182.90	19.70	11.50	89.23	93.71
59	2%	22-jun	174.30	15.50	7.10	91.11	95.93
61		24-jun	224.00	20.85	8.35	90.69	96.27
65		28-jun	236.68	27.30	14.30	88.47	93.96
68		01-jul	186.45	15.10	10.20	91.90	94.53
73	3%	06-jul	200.25	24.60	14.20	87.72	92.91
75		08-jul	204.30	19.80	11.60	90.31	94.32
80		13-jul	237.97	30.75	17.30	87.08	92.73
82		15-jul	191.70	22.55	10.20	88.24	94.68

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	% REMOCION R1	% REMOCION R2
			DBO ₅	DBO ₅	DBO ₅		
89	4%	22-jul	239.24	33.95	19.32	85.81	91.92
94		27-jul	209.10	29.60	11.41	85.84	94.54
101		03-ago	226.35	36.70	22.30	83.79	90.15
103		05-ago	206.36	29.60	14.97	85.66	92.75
108	5%	10-ago	354.91	76.40	44.12	78.47	87.57
110		12-ago	358.84	70.20	32.74	80.44	90.88
114		16-ago	288.93	58.70	26.30	79.68	90.90
116		18-ago	317.24	55.34	31.80	82.56	89.98
122	6%	24-ago	427.35	84.30	31.70	80.27	92.58
124		26-ago	368.75	65.16	42.08	82.33	88.59
129		31-ago	549.46	137.70	86.06	74.94	84.34
131		02-sep	541.18	141.03	65.84	73.94	87.83
136	7%	07-sep	657.00	187.00	92.37	71.54	85.94
138		09-sep	606.67	127.99	93.85	78.9	84.53
143	8%	14-sep	642.93	129.20	102.26	79.9	84.09
145		16-sep	734.00	131.80	82.80	82.04	88.72
150		21-sep	621.62	136.80	70.12	77.99	88.72
152		23-sep	613.10	132.40	68.60	78.40	88.81

Durante todo el periodo de investigación la medición de la DBO₅ obtuvo valores comprendidos dentro del rango de 80.00 mg/L y 734.00 para el afluente, entre 2.35 mg/L y 187.00 mg/L para el efluente del reactor R1 y entre 2.10 mg/L y 102.26 mg/L para el efluente del reactor R2

Asimismo los porcentaje de remoción de la DBO₅ obtuvo una variación comprendida dentro del rango de 72.54 % y 97.95 % para el reactor R1 y entre 84.09 % y 98.03 % para el reactor R2.

Gráfico 31. variación de la demanda bioquímica de oxígeno

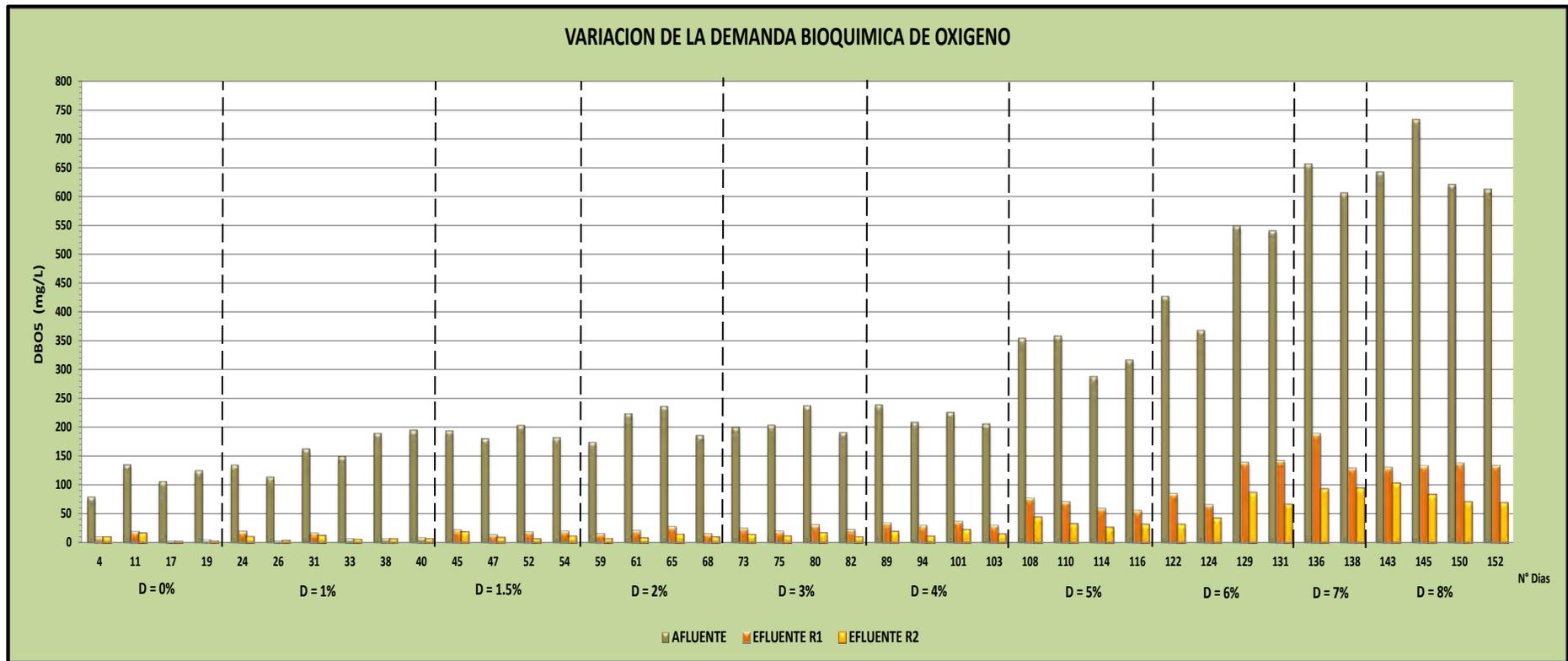


Gráfico 32. Variación de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno

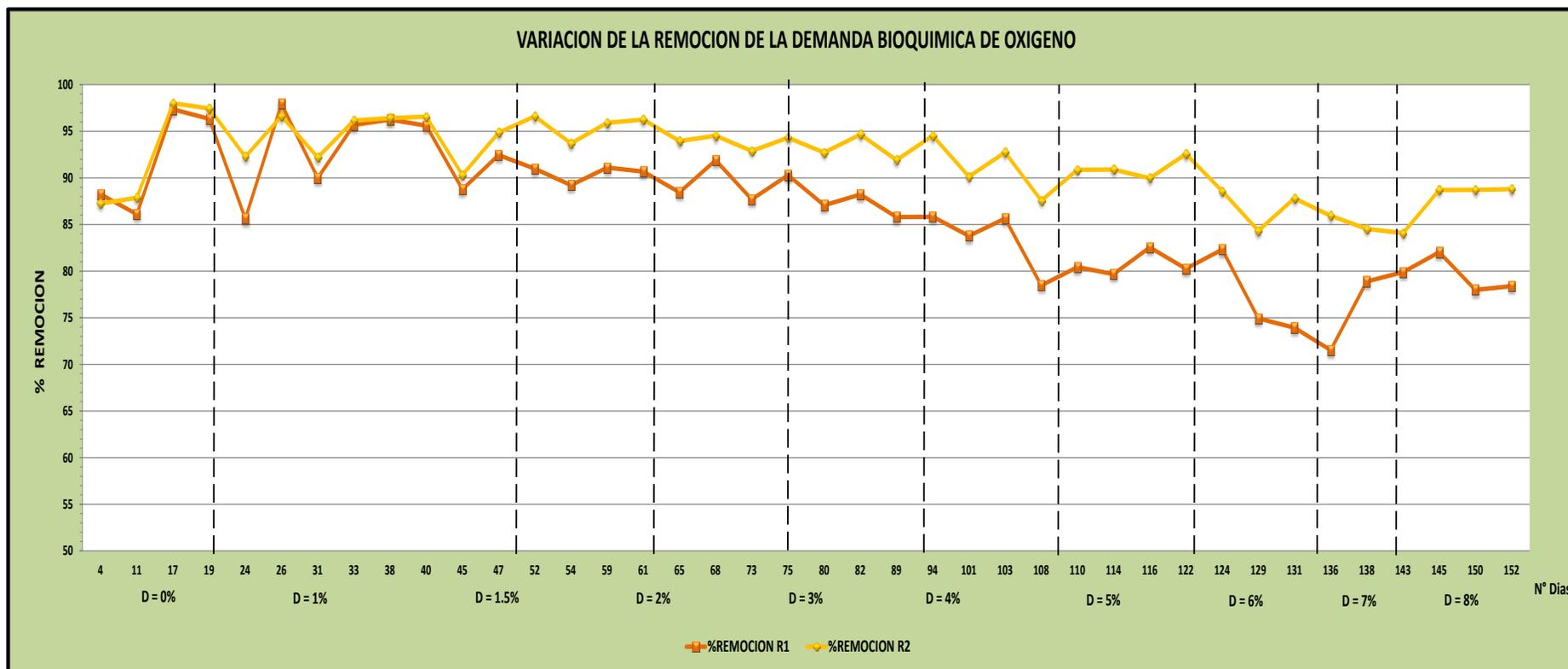
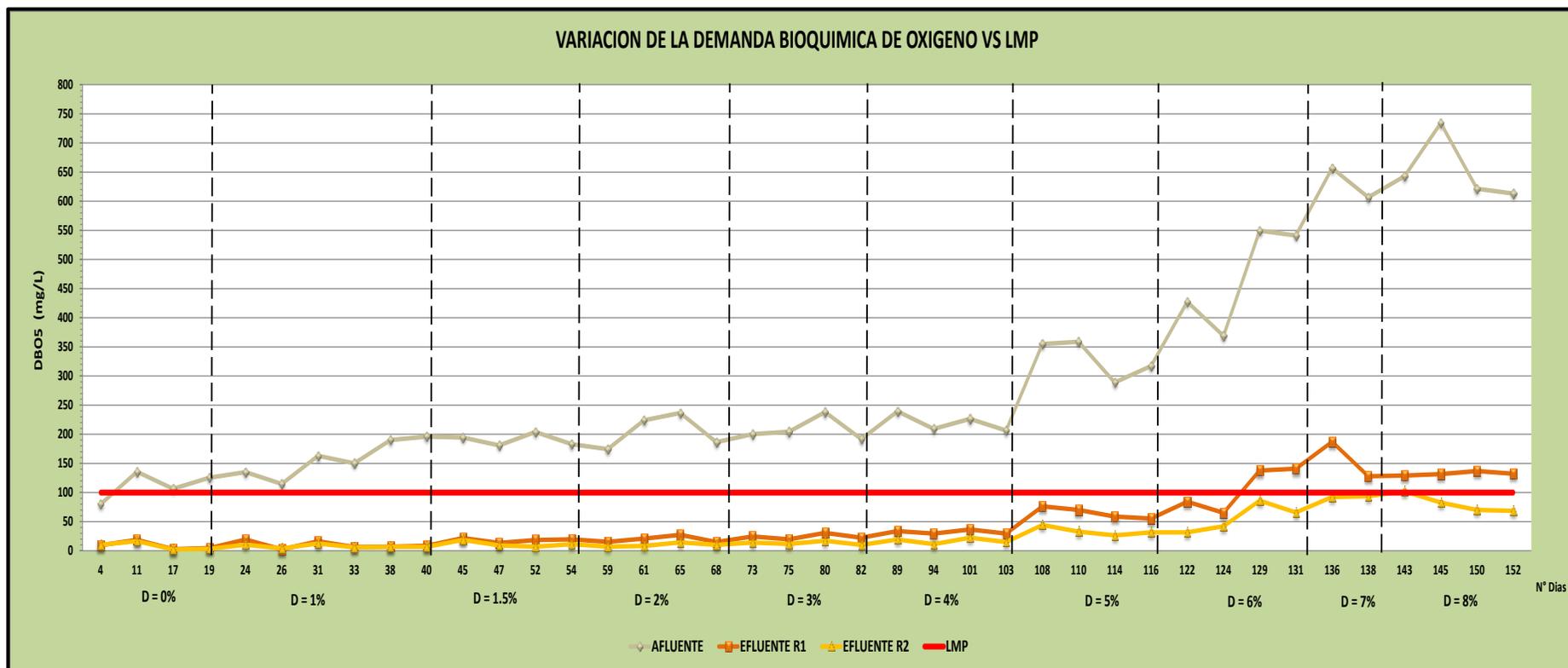


Gráfico 33. Variaciones de la DBO₅ vs límite máximo permisible para un efluente de PTAR



En el Gráfico 33 se puede observar que la DBO₅ del afluente presenta valores muy superiores al valor máximo permisible, mientras que el valor de la DBO₅ para el Efluente del Reactor R1 permanece dentro de los límites máximos permisibles hasta un porcentaje relación D=6%; mientras en el Reactor R2, la DBO₅ permanece dentro de los límites máximos permisibles durante todo el periodo de investigación.

7.1.7. Variación de la DQO del Reactor R1 y Reactor R2.

Para determinar la estabilidad de los reactores de lodos activados se realizaron pruebas de caracterización durante varios días, manteniendo caudal constante y observando que para la condición de entrada, el comportamiento de la remoción de la DQO, principalmente, no presente altas variaciones hasta encontrar una remoción constante, encontrándose los valores que se presentan en las tablas a continuación:

Tabla 26. Variación de la DQO, (D = 0%-8%)

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	FECHA	AFLUENTE	EFLUENTE R1	EFLUENTE R2	%REMOCION R1	%REMOCION R2
			DQO	DQO	DQO		
11	D=0%	05-may	202.00	35.00	38.00	82.67	81.19
19		13-may	184.00	33.00	31.00	82.07	83.15
26	D=1%	20-may	348.00	64.00	56.00	81.61	83.91
33		27-may	483.00	72.00	108.00	85.09	77.64
40		03-jun	515.00	121.00	129.00	76.50	74.95
47	D=1.5%	10-jun	485.00	145.00	135.00	70.10	72.16
54		17-jun	509.00	151.00	123.00	70.33	75.83
61	D=2%	24-jun	585.00	189.00	136.00	67.69	76.75
68		01-jul	605.00	181.00	158.00	70.08	73.88
75	D=3%	08-jul	623.00	206.00	186.00	66.93	70.14
82		15-jul	587.00	193.00	171.00	67.12	70.87
94	D=4%	08-jul	865.00	332.00	253.00	61.62	70.75
103		15-jul	592.00	216.00	182.00	63.51	69.26
110	D=5%	12-ago	1154.83	472.00	372.00	59.13	67.79
116		18-ago	726.56	287.00	231.87	60.50	68.09
124	D=6%	26-ago	1166.00	509.00	477.00	56.35	59.09
131		02-sep	1389.00	744.00	474.00	46.44	65.87
138	D=7%	09-sep	1472.00	743.00	665.00	49.52	54.82
145	D=8%	16-sep	1688.00	870.00	754.00	48.46	55.33
152		23-sep	1760.00	766.00	652.00	56.48	62.95

Durante todo el periodo de investigación se puede apreciar que el valor de la DQO en afluente presenta un mínimo de 184 mg/L, mientras que el valor máximo alcanzado en la investigación fue de 1760 mg/L.

Los valores alcanzados de la DQO en el efluente del reactor R1 tiene un valor mínimo de 33 mg/L, mientras que el valor máximo alcanzado en la investigación fue de 870 mg/L.

El comportamiento de la DQO en el reactor R2 tiene un valor mínimo de 31 mg/L, mientras que el valor máximo alcanzado en la investigación fue de 754 mg/L.

Gráfico 34. Variación de la demanda química de oxígeno

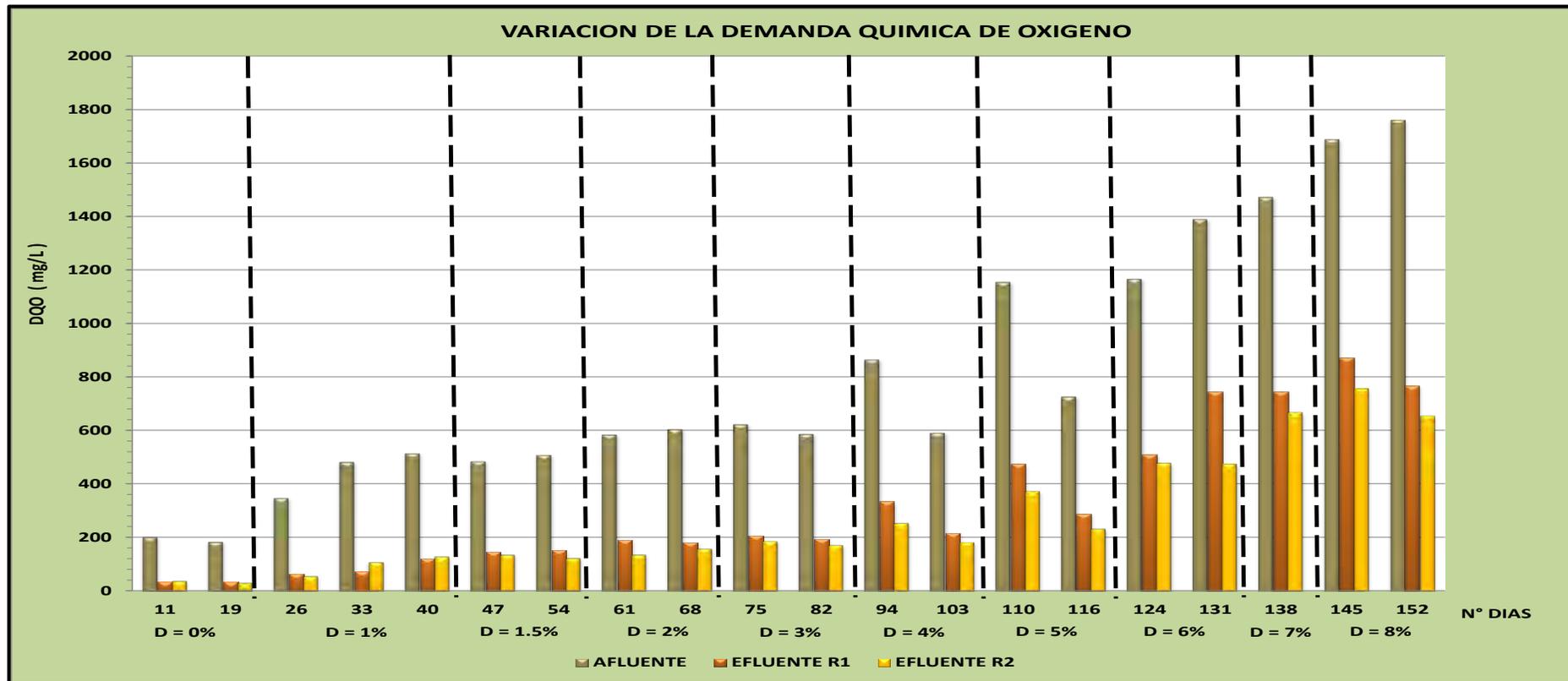


Gráfico 35. Variación de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno

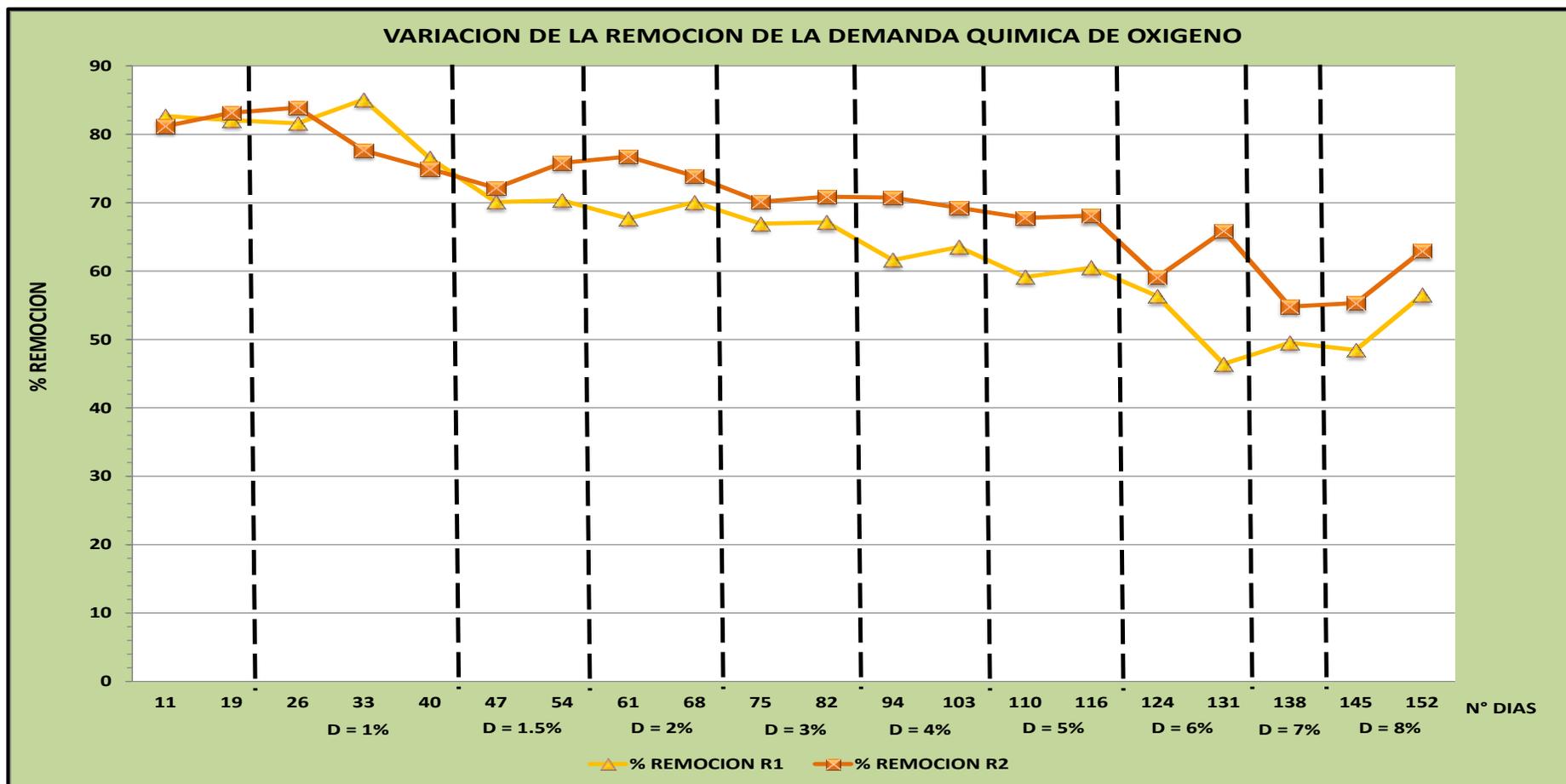
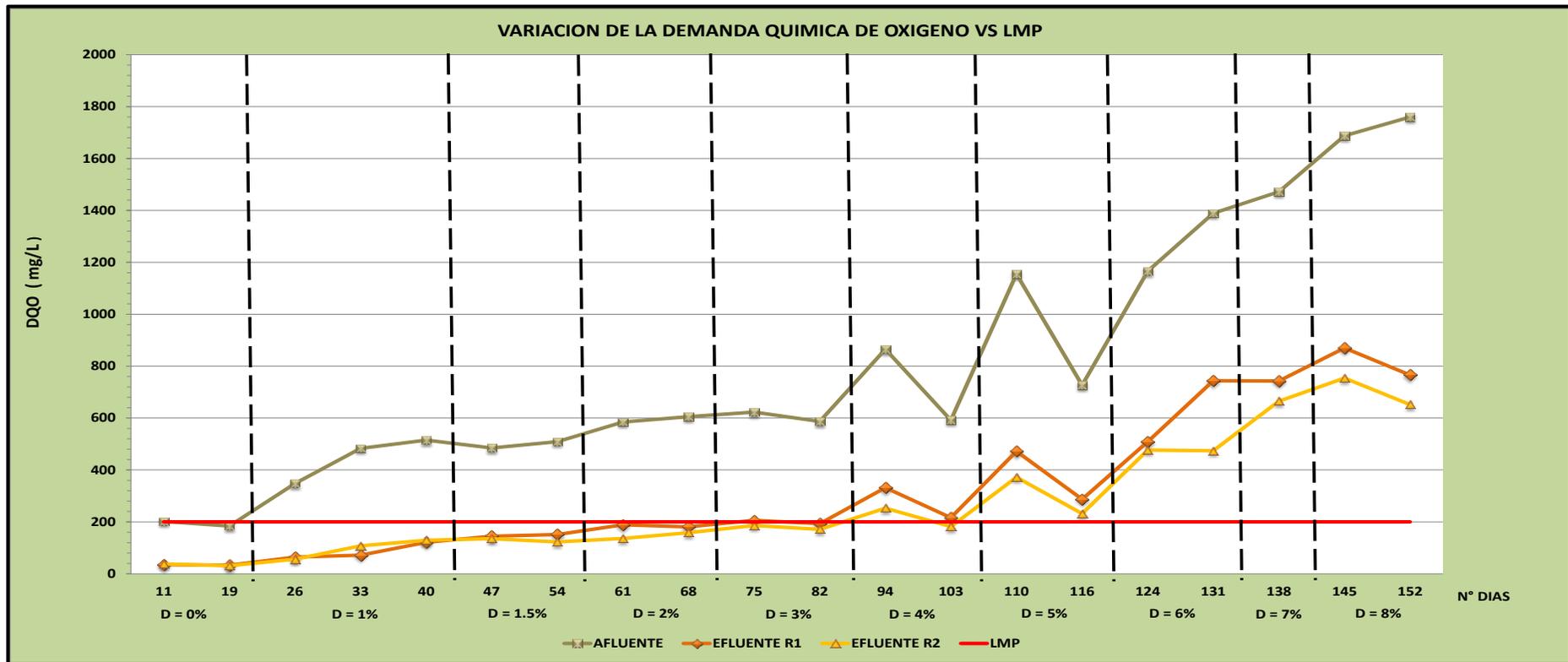


Gráfico 36. Variaciones de la DQO VS límite máximo permisible para un efluente de PTAR



En el Gráfico 36, se puede observar que la DQO del Afluente presenta valores muy superiores al valor máximo permisible, mientras que el valor de la DQO permanece dentro de los límites máximos permisibles hasta un porcentaje de 3% Lixiviado-AR para el Efluente del Reactor R1, a partir de tal porcentaje la DQO sufrió un incremento por encima del máximo permisible; en cambio, en el Efluente del Reactor R2, la DQO permanece dentro de los límites máximos permisibles hasta un porcentaje de 4% Lixiviado-AR, a partir de tal porcentaje el pH sufrió un incremento por encima del máximo permisible.

7.1.8. Variación de la relación DBO₅-DQO.

En la Tabla 27 que se presenta a continuación, la relación DBO₅/DQO en la investigación, se encuentra en un rango aceptable para optar por un tratamiento biológico según las diluciones presentadas.

Tabla 27. Relación DBO-DQO a una dilución del 0%-8% (AR-L).

N° DIA	%VOLUMEN DE LIXIVIADO	AFLUENTE		AFLUENTE DBO/DQO	AFLUENTE DQO/DBO	EFLUENTE R1 DBO/DQO	EFLUENTE R2 DBO/DQO
		DBO ₅	DQO				
11	D=0%	135.80	202.00	0.67	1.49	0.54	0.43
19		125.60	184.00	0.68	1.46	0.14	0.10
26	D=1%	114.60	348.00	0.33	3.04	0.04	0.07
33		150.00	483.00	0.31	3.22	0.09	0.05
40		196.00	515.00	0.38	2.63	0.07	0.05
47	D=1.5%	181.00	485.00	0.37	2.68	0.09	0.07
54		182.90	509.00	0.36	2.78	0.13	0.09
61	D=2%	224.00	585.00	0.38	2.61	0.11	0.06
68		186.50	605.00	0.31	3.24	0.08	0.06
75	D=3%	204.30	623.00	0.33	3.05	0.10	0.06
82		191.70	587.00	0.33	3.06	0.12	0.06
94	D=4%	209.10	865.00	0.24	4.14	0.09	0.05
103		160.40	592.00	0.35	3.69	0.14	0.08
110	D=5%	358.80	1155.00	0.31	3.22	0.15	0.09
116		217.20	726.60	0.30	3.35	0.19	0.14
124	D=6%	368.80	1166.00	0.32	3.16	0.13	0.09
131		541.20	1389.00	0.39	2.57	0.19	0.14
138	D=7%	606.70	1472.00	0.41	2.43	0.17	0.14
145	D=8%	734.00	1688.00	0.43	2.30	0.15	0.11
152		613.10	1760.00	0.35	2.87	0.17	0.11

7.1.9. Variación del índice volumétrico de lodo en el Reactor N° 1 y Reactor N° 2.

Tabla 28. Variación del IVL a una dilución del 0%-8% (AR-L).

N° DIA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	IVL		
		REACTOR R1	REACTOR R2	
3	D=0%	63.36	63.36	
5		57.66	52.63	
8		45.16	63.7	
10		56.49	57.24	
12		55.93	42.3	
15		29.16	47.35	
17		42.79	53.87	
19		50.91	61.68	
22		D=1%	60.95	83.33
24			107.10	85.11
26	142.86		77.31	
29	90.55		60.13	
31	136.87		41.37	
33	28.92		35.79	
36	23.03		40.28	
38	30.90		38.14	
40	72.34		69.83	
43	D=1.5%		67.92	34.24
45		54.69	75.97	
47		53.07	71.35	
50		45.36	66.05	
52		37.72	106.65	
54		24.23	135.75	

N° DIA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	IVL	
		REACTOR R1	REACTOR R2
57	D=2%	27.31	85.14
59		24.89	85.48
61		42.81	68.18
64		42.63	68.87
65		37.18	54.69
68		54.49	53.61
71	D=3%	50.00	87.86
73		39.45	62.11
75		56.29	43.44
78		54.09	49.72
80		39.44	40.69
82	D=4%	40.85	45.43
85		25.66	61.49
89		40.32	62.14
94		38.37	62.24
99		33.07	45.59
101		26.37	39.08
103	D=5%	37.69	35.3
106		41.39	41.03
108		38.12	48.52
110		38.23	41.95
114		31.93	47.51
116	28.12	44.78	

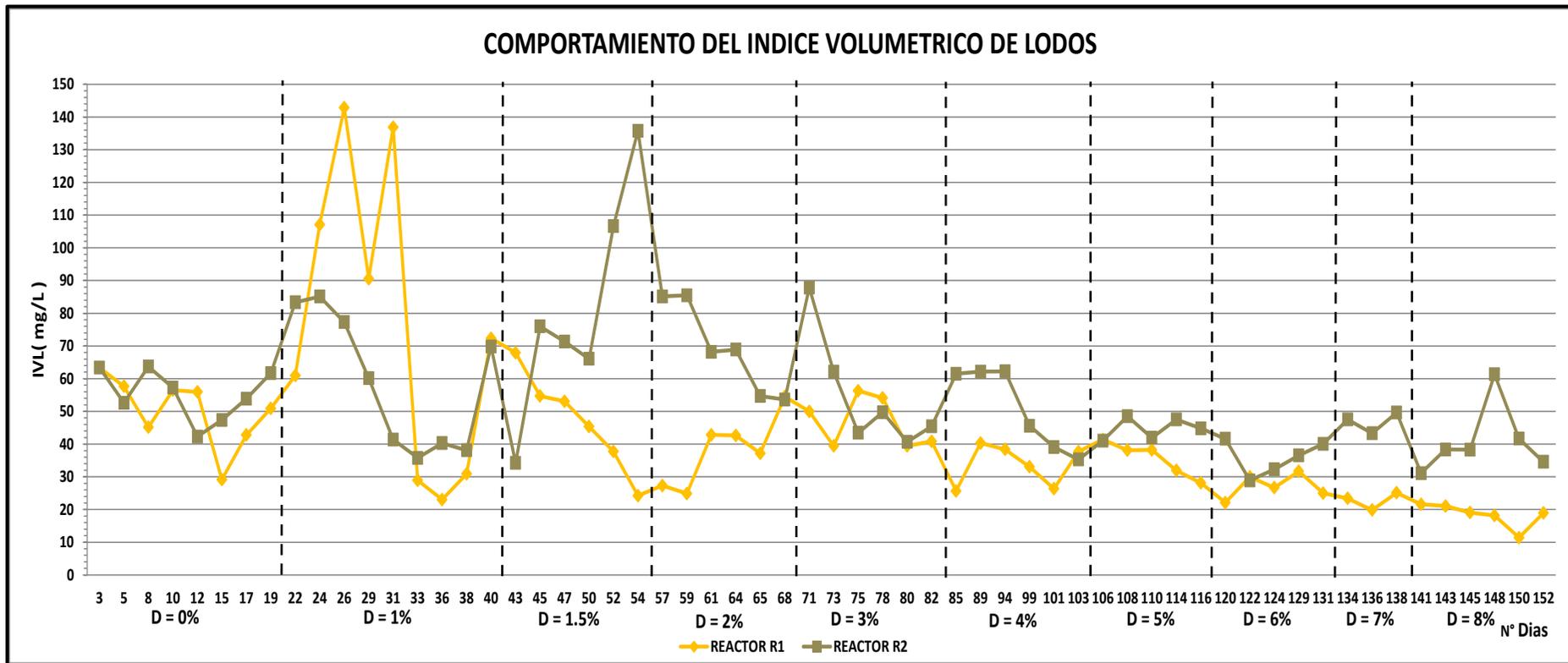
N° DIA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	IVL	
		REACTOR R1	REACTOR R2
120	D=6%	22.12	41.60
122		29.98	28.90
124		26.68	32.28
129		31.68	36.55
131		25.00	40.07
134	D=7%	23.40	47.51
136		19.84	43.33
138		25.09	49.64

N° DIA	% VOLUMEN DE LIXIVIADO	IVL	
		REACTOR R1	REACTOR R2
141	D=8%	21.59	31.11
143		21.07	38.34
145		19.05	38.3
148		18.16	61.32
150		11.42	41.67
152		18.93	34.58

El índice volumétrico de lodos varió entre 11.42 y 142.86 ml/g para el reactor R1, mientras para el reactor R2 varió entre 28.90 y 135.75 ml/g, valores que indican buena sedimentabilidad del lodo. Lo ideal es que su valor esté entre 35 y 150 ml/g.

En el reactor R1 se presenta valores por debajo de los valores recomendados a partir de una dilución al 6%.

Gráfico 37. Variación del IVL en cada Reactor al incrementar la dilución (D: 0%-8%)



En el Gráfico 37 se observa la variación del Índice Volumétrico de Lodo en cada proceso de la investigación.

El comportamiento del IVL en el reactor R1 tiene un valor máximo para el rango de dilución indicado de 142.86ml/gr, mientras que el valor mínimo fue de 11.42 ml/gr.

El comportamiento del IVL en el reactor R2 tiene un valor máximo de 135.75 ml/gr, mientras que el valor mínimo fue de 28.90 ml/gr.

7.1.10. Variación de la relación microorganismo - alimento en el Reactor R1 y Reactor R2.

Este parámetro representa la relación existente entre la cantidad de alimento y los microorganismos presentes en el licor mezclado de cada reactor.

Tabla 29. Relación A/M a una dilución del 0%-8% (AR-L).

Nº DIA	FECHA	% Volumen de Lixiviado	RELACION A/M R1 (Kg DBO ₅ / Kg SSV * d)	RELACION A/M R2 (Kg DBO ₅ / Kg SSV * d)	RELACION A/M R1 (Kg DQO / Kg SSV * d)	RELACION A/M R2 (Kg DQO / Kg SSV * d)
4	28-abr	D=0%	0.19	0.17		
11	05-may		0.23	0.16	0.34	0.24
17	11-may		0.15	0.10		
19	13-may		0.20	0.12	0.29	0.17
24	18-may	D=1%	0.16	0.10		
26	20-may		0.14	0.08	0.42	0.24
31	25-may		0.19	0.10		
33	27-may		0.18	0.08	0.57	0.27
38	01-jun		0.29	0.12		
40	03-jun		0.26	0.12	0.67	0.33
45	08-jun	D=1.5%	0.23	0.12		
47	10-jun		0.21	0.10	0.58	0.26
52	15-jun		0.21	0.12		
54	17-jun		0.21	0.10	0.58	0.28
59	22-jun	D=2%	0.18	0.10		
61	24-jun		0.46	0.10	1.21	0.26
65	28-jun		0.44	0.13		
68	01-jul		0.34	0.09	1.10	0.30
73	06-jul	D=3%	0.22	0.10		
75	08-jul		0.23	0.11	0.72	0.32
80	13-jul		0.31	0.11		
82	15-jul		0.29	0.10	0.89	0.30
89	22-jul	D=4%	0.26	0.11		
94	27-jul		0.28	0.13	1.15	0.54
101	03-ago		0.22	0.10		
103	05-ago		0.27	0.08	0.77	0.23

N° DIA	FECHA	% Volumen de Lixiviado	RELACION A/M R1 (Kg DBO ₅ / Kg SSV * d)	RELACION A/M R2 (Kg DBO ₅ / Kg SSV * d)	RELACION A/M R1 (Kg DQO / Kg SSV * d)	RELACION A/M R2 (Kg DQO / Kg SSV * d)
108	10-ago	D=5%	0.38	0.18		
110	12-ago		0.39	0.13	1.24	0.43
114	16-ago		0.26	0.13		
116	18-ago		0.26	0.14	0.60	0.31
122	24-ago	D=6%	0.32	0.12		
124	26-ago		0.25	0.14	0.80	0.43
129	31-ago		0.40	0.17		
131	02-sep		0.35	0.17	0.91	0.43
136	07-sep	D=7%	0.61	0.28		
138	09-sep		0.51	0.21	1.24	0.52
143	14-sep	D=8%	0.84	0.20		
145	16-sep		0.88	0.23	2.03	0.53
150	21-sep		0.69	0.19		
152	23-sep		0.75	0.21	2.14	0.59

El valor de la carga orgánica másica que proporciona mejores características de sedimentación del lodo debe estar comprendido entre: 0.3 y 0.6. Una relación alimento microorganismos menor a 0.3 indica que la cantidad de alimento presente en el sistema es insuficiente para mantener el crecimiento de microorganismos; y una relación alimento microorganismos superior a 0.6 puede inducir el crecimiento de organismos filamentosos, con la producción de hinchamiento del lodo y de mala sedimentabilidad.

Gráfico 38. Relación A/M vs Remoción de DQO al incrementar la dilución (D:0%-8%).

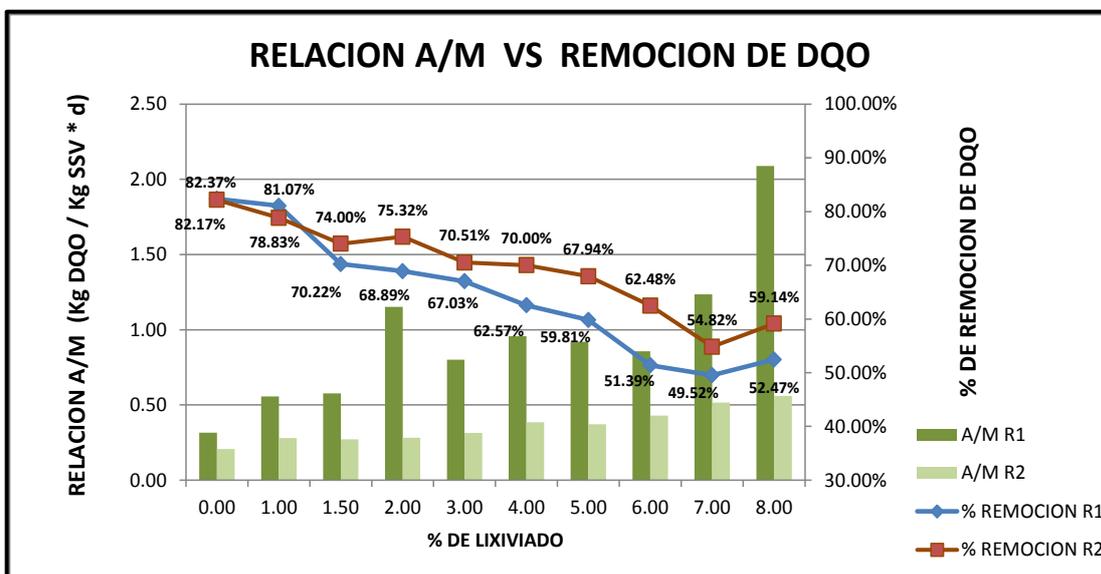
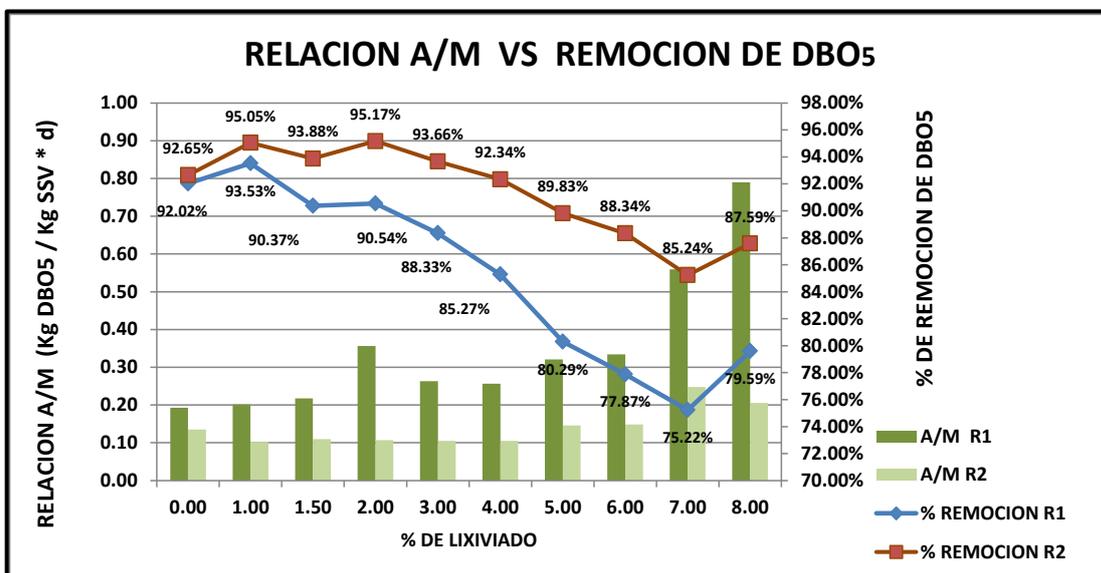


Gráfico 39. Relación A/M vs Remoción de DBO₅ al incrementar la dilución (D:0%-8%).



7.1.11. Microorganismos presentes en los reactores

El tratamiento por lodos activados es en realidad un ecosistema artificial en donde los organismos vivos están presentes con mayor o menor abundancia, por grupos de microorganismos que constituyen comunidades biológicas complejas interrelacionadas entre sí y con el medio físico que les rodea.

La observación microscópica de lodos activados en los tratamientos de depuración biológica se considera como un bioindicador del estado de funcionamiento de la planta.

Mediante el incremento en volumen de lixiviado en cada reactor, se fue observando el comportamiento de los microorganismos y la presencia de algunos tipos que intervienen en el tratamiento.

***Epistylis plicatilis*, (Reactor 1 y Reactor 2)**

Los individuos de este grupo se desarrollan de forma solitaria o formando colonias, se alimentan de bacterias. Son habituales en los sistemas de lodos activos con un buen funcionamiento.

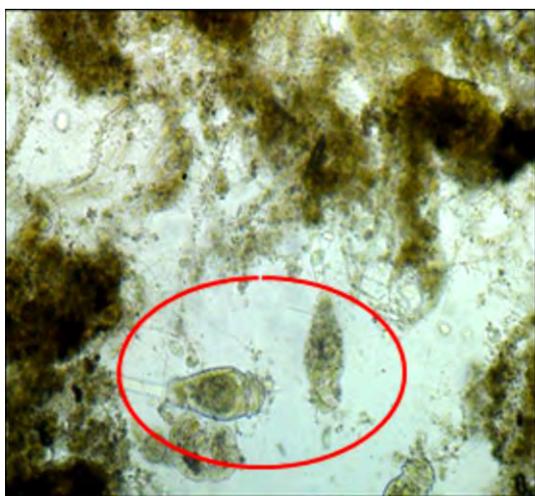


Figura 49. Colonia *Epistylis plicatilis*



Figura 50. *Epistylis plicatilis* (individuo)

philodina sp, (Reactor 1 y Reactor 2)

Se encuentran en sistemas con una estabilización buena y con oxígeno disuelto sobrante. Se encontró en mayor cantidad durante los primeros meses de la investigación.



Figura 51. philodina sp



Figura 52. philodina sp, formando quiste

Euplotes sp. Se alimenta de bacterias floculantes y es frecuente en los sistemas defangos activados



Figura 53. philodina sp

Los nematodos en los lodos activados en su mayor parte son depredadores de bacterias y protozoos

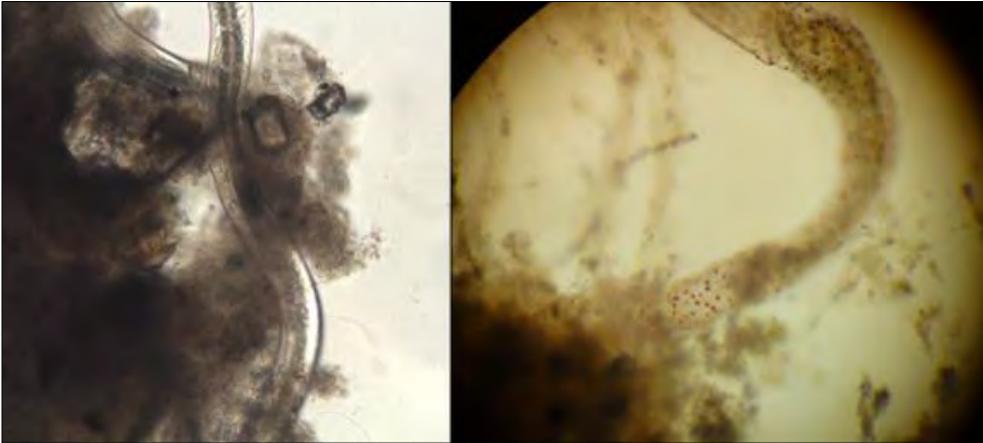


Figura 54. NEMATODES (Reactor 1-2)

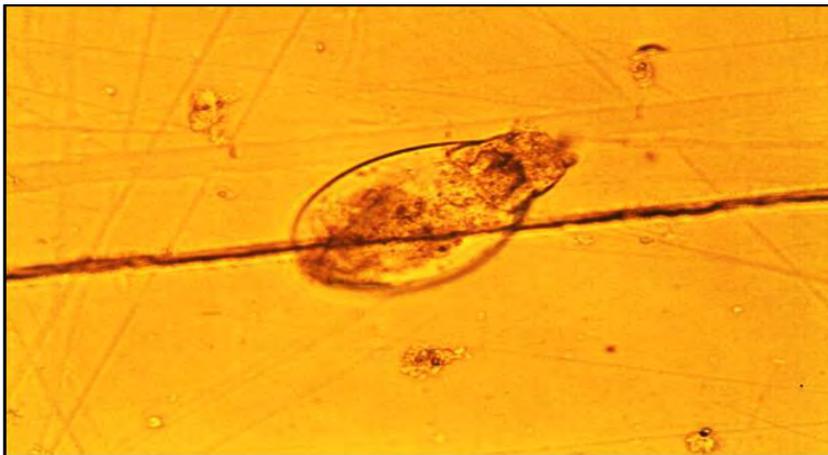


Figura 55. DIFLUGIA (Reactor 1)



Figura 56. MICROORGANISMOS FORMANDO QUISTE (Reactor 1-2)

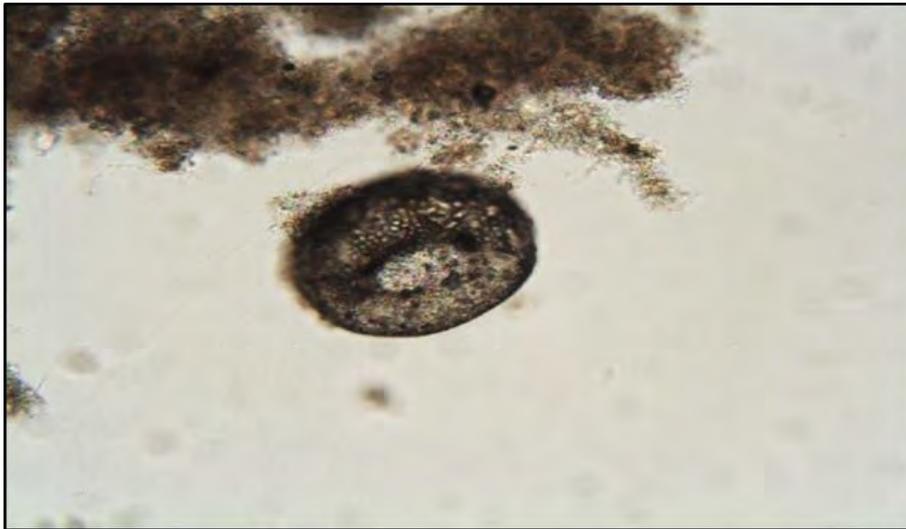


Figura 57. MICROORGANISMOS FORMANDO QUISTE (Reactor 1-2)

7.1.12. Variación del oxígeno disuelto en el Reactor R1 y Reactor R2.

Tabla 30. Variación del oxígeno disuelto a una dilución del 0%-8% (AR-L).

N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)		N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	
		REACTOR 1	REACTOR 2			REACTOR 1	REACTOR 2
1	D=0%	6.70	6.30	22	D=1%	5.10	6.45
3		5.60	5.10	24		2.70	3.30
5		6.70	6.24	26		3.50	3.40
8		5.80	6.10	29		3.80	3.40
10		4.68	4.45	31		4.80	4.30
12		5.30	5.10	33		4.70	4.10
15		4.85	3.25	36		3.80	3.60
17		5.20	4.70	38		4.55	3.70
19		6.30	5.30	40		4.30	2.80

N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)		N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	
		REACTOR 1	REACTOR 2			REACTOR 1	REACTOR 2
43	D=1.5%	4.50	3.85	57	D=2%	4.50	3.60
45		4.40	3.83	59		3.20	2.90
47		4.20	3.80	61		2.40	2.10
50		4.30	3.70	64		4.20	3.50
52		4.60	3.10	65		4.30	3.00
54		4.64	3.20	68		4.00	2.40

N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)		N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	
		REACTOR 1	REACTOR 2			REACTOR 1	REACTOR 2
71	D=3%	3.50	3.10	85	D=4%	3.20	2.90
73		2.80	2.50	89		3.60	3.30
75		3.30	3.10	94		3.65	2.90
78		2.90	2.70	99		2.30	2.50
80		3.20	2.80	101		3.30	2.10
82		3.10	3.00	103		3.10	2.90

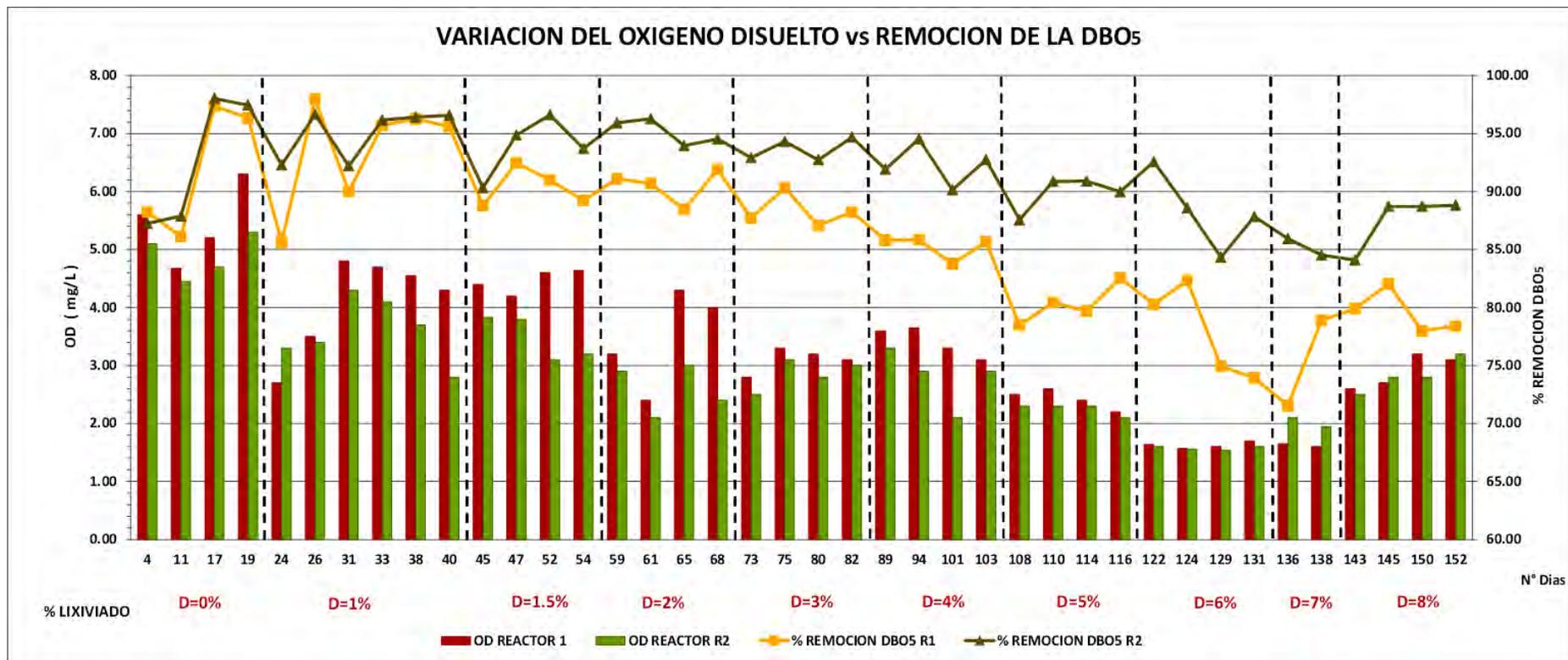
N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	
		REACTOR 1	REACTOR 2
106	D=5%	2.70	2.50
108		2.50	2.30
110		2.60	2.30
114		2.40	2.30
116		2.20	2.10

N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	
		REACTOR 1	REACTOR 2
120	D=6%	1.70	1.60
122		1.64	1.60
124		1.57	1.56
129		1.60	1.54
131		1.70	1.60

N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	
		REACTOR 1	REACTOR 2
134	D=7%	1.57	1.70
136		1.65	2.10
138		1.60	1.95

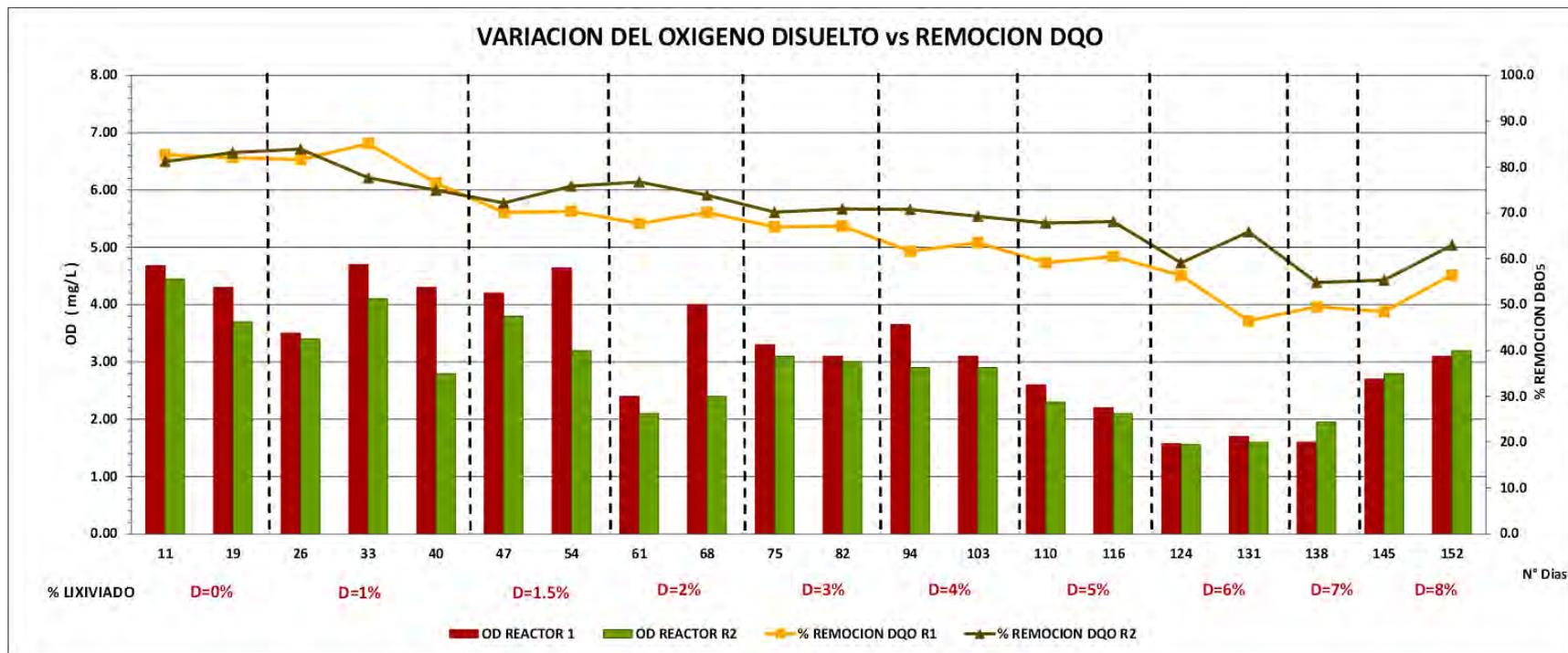
N° DIA	%Volumen de Lixiviado	OXIGENO DISUELTO (mg/L)	
		REACTOR 1	REACTOR 2
141	D=8%	2.30	2.10
143		2.60	2.50
145		2.70	2.80
148		3.42	3.10
150		3.20	2.80
152		3.10	3.20

Gráfico 40. Variación de la DBO₅ vs OD en cada Reactor (D: 0% - 8%)



En el Gráfico 40, se observa a lo largo de la investigación una relación directa entre el oxígeno disuelto en cada reactor y la eficiencia en la remoción de la DBO₅. El suministro de oxígeno se mantuvo constante en cada reactor. Los puntos donde se realizó la medición del OD fueron en la zona de aireación. En el reactor R1, el OD varío desde 1.57 y 7.70 mg/L, en donde el cual la eficiencia promedio máxima alcanzada fue de 93.53%. En el reactor R2, el OD varío desde 1.54 y 6.45 mg/L, en donde el cual la eficiencia promedio máxima alcanzada fue de 95.17%.

Gráfico 41. Variación de la DQO vs OD en cada Reactor al incrementar la dilución (L-AR) del 0% al 8%



En el Gráfico 41 se observa a lo largo de la investigación una relación directa entre el oxígeno disuelto en cada reactor y la eficiencia en la remoción de la DQO. El suministro de oxígeno se mantuvo constante en cada reactor. Los puntos donde se realizó la medición del OD fueron en la zona de aireación. En el reactor R1, el OD vario desde 1.57 y 7.7 mg/L, en donde el cual la eficiencia promedio máxima alcanzada fue de 82.37%. En el reactor R2, el OD vario desde 1.54 y 6.45 mg/L, en donde el cual la eficiencia promedio máxima alcanzada fue de 82.17%.

7.1.13. Comparación entre algunos resultados.

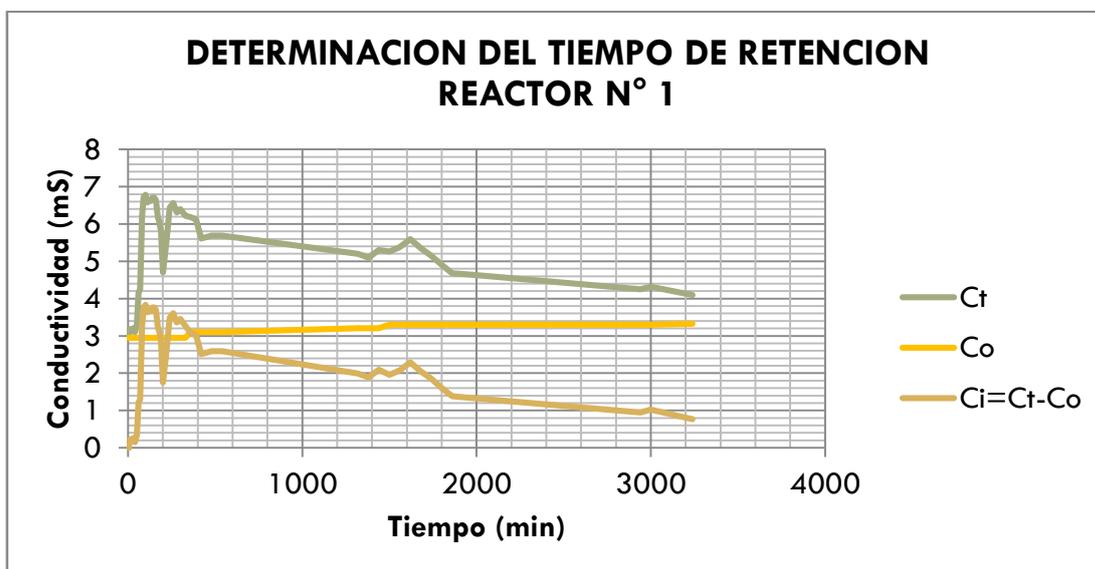
Tabla 31. Comparación de algunos resultados a una dilución del 0%-8% (AR-L).

%VOLUMEN DE LIXIVIADO	AFLUENTE		EFLUENTE R1		EFLUENTE R2		% REMOCION DBO ₅		% REMOCION DQO	
	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	R1	R2	R1	R2
0.00%	130.70	193.00	11.73	34.00	9.83	34.50	92.02%	92.65%	82.37%	82.17%
1.00%	153.53	448.67	5.80	85.67	5.43	97.67	93.53%	95.05%	81.07%	78.83%
1.50%	181.95	497.00	16.68	148.00	10.40	129.00	90.37%	93.88%	70.22%	74.00%
1.50%	205.23	595.00	17.98	185.00	9.28	147.00	90.54%	95.17%	68.89%	75.32%
3.00%	198.00	605.00	21.18	199.50	10.90	178.50	88.33%	93.66%	67.03%	70.51%
4.00%	207.73	728.50	29.60	274.00	13.19	217.50	85.27%	92.34%	62.57%	70.00%
5.00%	338.04	940.70	62.77	379.50	32.27	301.94	80.29%	89.83%	59.81%	67.94%
6.00%	454.97	1277.50	103.10	626.50	53.96	475.50	77.87%	88.34%	51.39%	62.48%
7.00%	606.67	1472.00	127.99	743.00	93.85	665.00	75.22%	85.24%	49.52%	54.82%
8.00%	673.55	1724.00	132.10	818.00	75.70	703.00	79.59%	87.59%	52.47%	59.14%

%VOLUMEN DE LIXIVIADO	RELACION A/M (KgDBO ₅ /KgSSV*d)		RELACION A/M (KgDQO/KgSSV*d)		SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/L)		SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (mg/L)		INDICE VOLUMETRIC DE LODOS (mg/L)	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
0.00%	0.19	0.14	0.32	0.21	726	921.38	444.88	614.63	53.99	59.04
1.00%	0.2	0.1	0.56	0.28	849.78	1576.44	631.22	1160	86.5	57.92
1.50%	0.22	0.11	0.58	0.27	900.67	1801.33	691.67	1344.67	42.42	97.43
1.50%	0.36	0.11	1.15	0.28	715.33	1884.67	535.33	1453.33	39.84	65.49
3.00%	0.26	0.11	0.8	0.31	799.67	1903.83	611.67	1445.17	44.01	47.92
4.00%	0.26	0.10	0.96	0.39	900.67	2137.33	671.33	1594	35.69	49.69
5.00%	0.32	0.15	0.92	0.37	1002.8	2228.6	793	1816.6	34.1	45.69
6.00%	0.33	0.15	0.86	0.43	1248	2936.4	1069.4	2399.2	28.33	34.45
7.00%	0.56	0.25	1.24	0.52	1024	2446.67	864	1950.67	22.47	46.48
8.00%	0.79	0.21	2.09	0.56	842.5	3121	656.5	2547.33	17.62	38.22

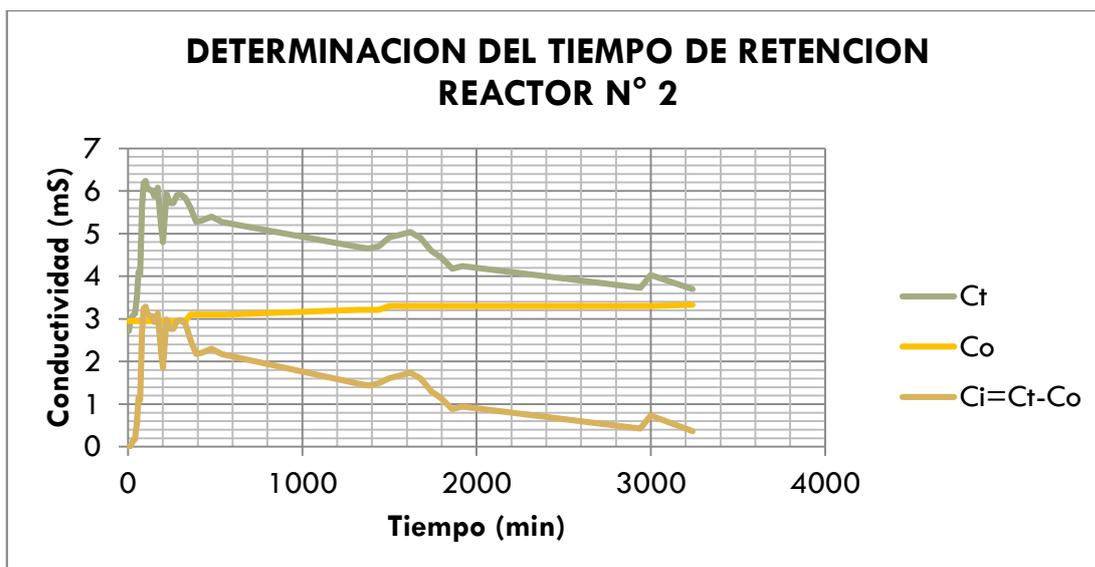
7.1.14. Determinación del tiempo de retención real en el Reactor N° 1 y Reactor N° 2.

Gráfico 42. Determinación del tiempo de retención real en el reactor N°1



En el Gráfico 42 se tiene las variaciones de la concentración de trazador en el tiempo, y mediante las concentraciones del mismo se determina la curva que nos proporcionara el tiempo de retención. Para el reactor R1 se tiene como resultado: $T_m = 1482.08 \text{ min} < > 24.70 \text{ horas}$.

Gráfico 43. Determinación del tiempo de retención real en el reactor N°2



En el Gráfico 43 se tiene las variaciones de la concentración de trazador en el tiempo, y mediante las concentraciones del mismo se determina la curva que nos proporcionara el tiempo de retención. En centro de la figura para el reactor R2 se tiene como resultado: $T_m = 1299.37 \text{ min} < > 21.66 \text{ horas}$

CAPITULO 8

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

8.1. Análisis de los resultados obtenidos de la evaluación del sistema a escala de laboratorio.

Para la evaluación y comparación de los parámetros medidos en el tratamiento de lixiviado a través de lodos activados con aireación prolongada, se obtuvo lixiviado del relleno sanitario de Ancón, de la poza de recolección, el cual almacena el sustrato de diversos pozos de cada celda del relleno sanitario, y así, obteniendo el lixiviado de diferentes características y grado de maduración. El lixiviado obtenido, por las características que presenta, se podría indicar que es un sustrato viejo debido a que la relación DBO_5/DQO es relativamente baja (valores de DQO menores a 20000 mg/L) y biodegradabilidad muy débil ($DBO_5/DQO > 0.1$), por ello la dilución del mismo con agua residual es favorable para incrementar dicho valor y la biodegradabilidad de la materia orgánica. En relación a las concentraciones de sales disueltas, y metales pesados un lixiviado viejo favorece al tratamiento biológico.

8.1.1. Potencial hidrogeno (pH).

Durante toda la etapa de la investigación se realizó el monitoreo a este parámetro en el afluente, los reactores y efluentes. Los valores obtenidos indican que el pH sufre un incremento en el afluente, esta variación se relaciona directamente al incremento del porcentaje del lixiviado; obteniendo un valor mínimo de 7.07 y un valor máximo de 8.92

El pH no fue afectado significativamente durante la dosificación de lixiviados, este parámetro es de suma importancia como indicador en la actividad

microbiana; es de conocimiento que el metabolismo de los microorganismos es mejor en un pH neutro (6.5 – 8.5).

En el caso de los reactores (zona de aireación), el valor del pH fluctuó entre 7.07 a 8.79 para el reactor R1 y entre 7.09 y 8.54 para el reactor R2; estos valores demuestran que ambos reactores tienen una importante capacidad buffer.

El pH del licor mezclado debe mantenerse entre 6.5 y 8.5, para promover un crecimiento microbiano apropiado y para evitar el crecimiento de hongos. Para ajustar el pH se pueden dosificar ácido sulfúrico, ácido clorhídrico o ácido fosfórico, si el pH es alto; o cal, soda ash u otro álcali o base, si el pH es demasiado bajo. Si el pH es menor que 6, los hongos son menormente afectados que las bacterias y tienden a predominar. A pH alto la forma predominante del nitrógeno amoniacal es la forma gaseosa no iónica (NH_3), la cual es toxica, pero también removible mediante arrastre con aire, especialmente a pH de 10.5 a 11.5.

El pH en el afluente tuvo una variación de 7.07 a 8.92, en el reactor R1 se el valor se encontró entre 7.07 y 8.79, en el reactor R2 el valor se encontró entre 7.09 y 8.54, mientras que en los efluentes hubo una variación entre 6.94 y 8.78 para el reactor R1, y entre 6.61 y 8.64 para el efluente del reactor R2.

8.1.2. Temperatura ambiental y en los reactores.

La dependencia de la temperatura es muy importante para la reacción biológica con el fin de asegurar la eficiencia conjunta de los procesos de tratamiento. La temperatura no sólo influye en las actividades metabólicas de la población microbiana, sino que también tiene un profundo efecto sobre factores tales como: la velocidad de transferencia de gases, modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto y sobre las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

La temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25°C a 35 °C. La digestión aerobia y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50 °C. Cuando la temperatura es menor de 15 °C la digestión metanogénica es muy lenta y a temperaturas de menores de 5°C las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de operar.

La temperatura en los reactores en el transcurso de la investigación fue disminuyendo, puesto que se dio inicio en otoño y se culminó a fines del invierno.

En el apartado 7.1.2 se puede ver las variaciones de la Temperatura en función al tiempo y del incremento de la concentración de lixiviado en el sustrato; la cual, va desde valores mínimo de 16.4°C hasta valores máximos de 22.9°C.

8.1.3. Turbiedad.

Para ver la calidad del efluente en cada reactor se evaluó dicho parámetro y tener una idea superflua de eficiencia de los sistemas. Con respecto a la bibliografía, es necesario medir la turbiedad al final del proceso de tratamiento de aguas residuales para verificar que los valores se encuentren dentro de las normas reguladoras.

La variación de la turbiedad fue paulatina en el afluente, gracias a la poca presencia coloidal, ya que en su mayoría el sustrato presenta partículas disueltas, y al tratamiento preliminar del agua residual. Este valor tuvo como máximo valor 256 UNT y mínimo de 69 UNT.

La turbiedad en el efluente del reactor R1 presento como valor máximo 72.30 UNT y como mínimo 1.20 UNT. La remoción de la turbidez en este reactor vario entre el 98.59%, a una dilución del 1.0%, y 64.03%, a una dilución del 7.0%.

Con respecto al efluente del reactor R2, la turbiedad presento como valor máximo 46.70 UNT y como mínimo 1.00 UNT. La remoción de la turbiedad en este reactor varió entre el 98.56% UNT, a una dilución del 1.0%, y de 75.38%. a una dilución del 7.0%.

8.1.4. Conductividad.

Indicador relacionado con la presencia de iones disueltos en la muestra de lixiviado del relleno sanitario. La determinación de la conductividad está relacionada con la turbiedad del sustrato y la concentración en volumen del lixiviado, ya que, al ir incrementando la concentración de lixiviado en el afluente los iones presentes en el lixiviado incrementan este parámetro en todo el sistema.

El afluente tuvo una variación de 918 μS a 7830 μS , para el reactor R1 la conductividad varió de 846 μS a 6790 μS con una remoción máxima de 27.99%, en cambio en el reactor R2 varió entre valores de 844 μS a 6760 μS se observó una mayor remoción del parámetro con un valor de 32.7%. Ambos valores se presentaron para una dilución al 1.0%.

8.1.5. Sólidos suspendidos totales y volátiles (SST y SSV).

Estos dos parámetros se midieron con la finalidad de cuantificar y mantener un control de la concentración de biomasa en cada sistema de tratamiento. Al ir incrementando el volumen de lixiviado en el afluente, las concentraciones de la biomasa en cada sistema fue variando, de tal manera que a lo largo de la investigación, fue disminuyendo en el reactor R1 y en el reactor R2 fue incrementándose gracias a la recirculación del lodo en dicho proceso. Según la bibliografía (Tratamiento de aguas residuales, R.S. Ramalho), en el proceso de lodos activados la concentración de SSV, está comprendida entre 2000 y 3000 mg/L.

En las tablas del apartado 7.1.5, se observa como varió las concentraciones de los SST y SSV en el licor mezclado de cada reactor. Estas variaciones son muy comunes en las aguas residuales urbanas. En el reactor R1 los SST variaron entre 555 y 1360 mg/L. mientras que los SSV vario entre 325 y 1184 mg/L. y la relación SSV/SST tuvo una variación de 0.55 a 0.90. En cambio en el reactor R2 los SST variaron entre 584 y 3664 mg/L. mientras que los SSV vario entre 321 y 3100 mg/L. y la relación SSV/SST tuvo una variación de 0.50 a 0.88.

La proporción de materia orgánica en el licor mezclado de cada reactor sufrió una alteración leve por eventual presencia de compuestos inorgánicos presentes en el lixiviado, y la razón SSV/SST fue en su mayoría superior a 0.7 en gran parte de la investigación; lo cual, indica una gran presencia de la parte orgánica en el licor mezclado.

En resumen nos indica que más del 70% de los sólidos en suspensión son volátiles, la relación SSV/SST en plantas de tratamiento de lodos activados está comprendido entre 0.8-0.9; es decir, el 80 a 90% son SSV (Rubens Sette Ramalho).

8.1.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

En el desarrollo de la investigación en el afluente la DBO₅ fluctuó entre 80 y 734 mg/L. el valor mínimo corresponde a la etapa en que el sistema operaba con agua residual domestica sin la inclusión del lixiviado en el proceso. Esta concentración inicial es inferior al promedio de las aguas residuales domesticas (150-300mg/L) debido al tratamiento preliminar del sustrato (rejas gruesas, desarenador y tanque séptico). Todo lo contrario fue al ir incrementando la concentración de lixiviado en dilución, en donde el sustrato alcanzó el valor máximo mencionado y la biodegradabilidad del sustrato fue disminuyendo.

El comportamiento de la eficiencia en ambos procesos de cada reactor fue disminuyendo de manera directamente proporcional al aumento de lixiviado en las diluciones evaluadas (ver tablas y s del apartado 7.1.6).

Teniendo en cuenta el Decreto Supremo N° 00.-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticos o Municipales; para cumplir con dicha normativa, los efluentes en cada reactor deberían encontrarse por debajo del valor máximo permisible. Según la norma mencionada el valor máximo permisible es de 100 mg DBO/L.

Con respecto al efluente del reactor R1, la concentración de la DBO₅ varió entre 2.35 mg/L y 187.00 mg/L. La concentración aceptable para el cumplimiento de la norma resulto siendo 84.30 mg/L a una dilución del 6% en volumen de lixiviado, para concentración del afluente de 427.35 mg/L y un carga orgánica equivalente a 0.062 Kg DBO₅/d. La eficiencia de la remoción alcanzada para estas condiciones óptimas fue del 80.27%.

Con respecto al efluente del reactor R2, la concentración de la DBO₅ varió entre 2.1 mg/L y 102.26 mg/L. La concentración aceptable para el cumplimiento de la norma resulto siendo 93.85 mg/L. a una dilución del 7% en volumen de lixiviado, para una concentración del afluente de 606.67 mg/L. y un carga orgánica equivalente a 0.087 Kg DBO₅/d. La eficiencia de la remoción alcanzada para estas condiciones óptimas fue del 84.53%.

La procedencia del lodo inoculado en los procesos (PTAR Manchay, afluyente con una concentración de DBO_5 en promedio de 700mg/L) influyó de manera favorable en la investigación, permitiéndonos llegar a los valores de remoción mencionados en cada reactor (ver tablas y s del apartado 7.1.6).

8.1.7. Demanda química de oxígeno (DQO).

Este parámetro, es importante para mantener una correlación con la Demanda Bioquímica de Oxígeno; en la Tabla 27 (pag. 141), la relación DBO_5/DQO del afluyente se encuentra por encima de 0.2. Teniendo en cuenta lo que indica la bibliografía, podemos desarrollar un tratamiento biológico. Dicha relación varió desde 0.24 a 0.68 en todo el proceso de la investigación.

El incremento de la concentración de la DQO tiene relación directa con el incremento de los porcentajes de dilución; pero, indirectamente con la eficiencia en cada reactor, mientras se incrementa la dilución en el tiempo la eficiencia en la remoción de la Demanda Química de Oxígeno disminuye.

El afluyente con valores comprendidos entre 184 y 1760 mg DQO/L, nos indica cómo fue incrementando la DQO por la concentración volumétrica del lixiviado.

Teniendo en cuenta el Decreto Supremo N° 00.-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticos o Municipales; para cumplir con dicha normativa, los efluentes en cada reactor deberían encontrarse por debajo del valor máximo permisible. Según la norma mencionada el valor máximo permisible es de 200 mg/L.

Con respecto al efluente del reactor R1, la concentración de la DQO varió entre 33.0 mg/L y 870.0 mg/L. La concentración aceptable para el cumplimiento de la norma resulto siendo 193 mg/L a una dilución del 3% en volumen de lixiviado, para una concentración de la DQO del afluente de 587 mg/L y un carga orgánica equivalente a 0.085 Kg DQO/d. La eficiencia de la remoción alcanzada para estas condiciones óptimas fue del 63.51%.

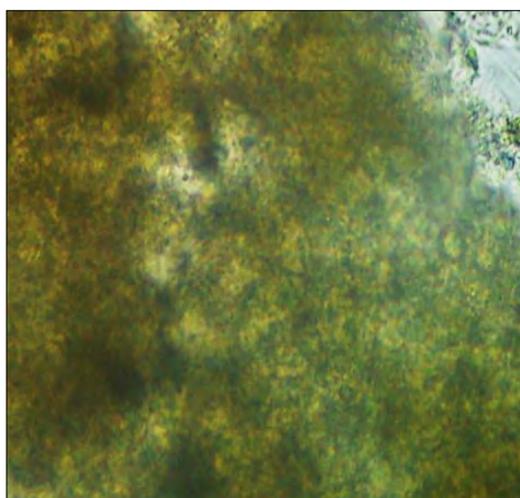
Con respecto al efluente del reactor R2, la concentración de la DQO varió entre 31.0 mg/L y 754.0 mg/L. La concentración aceptable para el cumplimiento de la norma resulto siendo 182 mg/L a una dilución del 4% en volumen de lixiviado, para una concentración de la DQO del afluente de 592 mg/L y un carga orgánica equivalente a 0.085 Kg DQO/d. La eficiencia de la remoción alcanzada para estas condiciones óptimas fue del 69.26%.

8.1.8. Índice volumétrico de lodo.

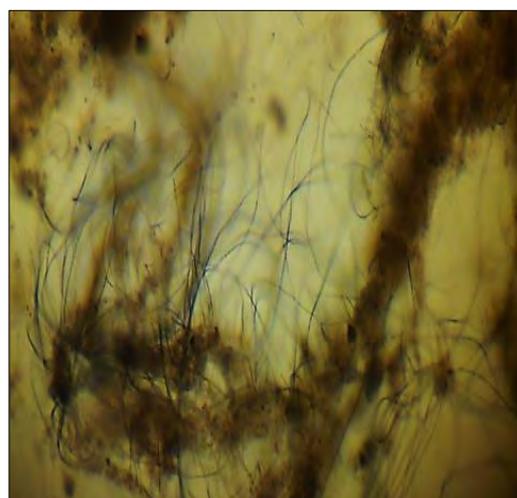
En el tratamiento de aguas residuales (Rubens Sette Ramalho), los valores típicos del IVL para lodos de buenas características de sedimentación con concentraciones de SST 800 a 3500 mg/L. están comprendidos dentro del intervalo 150-35 ml/g. En el reactor R1 los SST variaron entre 555 y 1360 mg/L. y el IVL varió entre 11.42 ml/g. y 142.86 ml/g. En cambio en el reactor R2 los SST variaron entre 584 y 3664 mg/L. y el IVL varió entre 135.75 y 28.9 ml/g.

La condición que se presenta a veces por la que el lodo es ligero y disperso (lodo inflado) y por ello difícil de sedimentar se denomina "bulking". El lodo de estas características pasa por encima de los vertederos de separación y se escapa con el efluente del sedimentador secundario. Si el lodo no tiene una buena sedimentación, las condiciones en el sedimentador secundario serian endógenas, por ende la DBO₅ en el efluente sería relativamente elevada, lo que no resulta deseable en el desarrollo de la investigación.

A pesar que ambos procesos presentan valores menores a 150 ml/g., en el reactor R1 hay formación de bulking, ver Figura 58, lo cual, en cantidades pequeñas de organismos filamentosos (bulking) es recomendable porque sirven como columna vertebral para la estructura del floc y para retener pequeñas partículas durante la sedimentación.



Lodo en el reactor N°2



Lodo en el reactor N°1 con presencia de bulking

Figura 58 Observación microscópica del lodo en cada reactor.

Los problemas de hinchamiento de lodos y de formación de espuma son muy comunes en plantas de lodos activados que no satisfacen los rendimientos solicitados de una planta de tratamiento secundario de aguas residuales. Los agentes y organismos espumantes pueden producir una espuma estable, viscosa, de color carmelita, difícil de romper mecánicamente con chorros de agua o con antiespumante.

En la investigación, el reactor R1 presento organismos filamentosos debido a la disminución del oxígeno en el reactor por el incremento de carga orgánica, las características contaminantes del lixiviado y la disminución paulatina de los microorganismos reductores de la carga orgánica.



Figura 59. Levantamiento del lodo en el sedimentador secundario.

En la Figura 59, el lodo sedimentado puede ser levantado por el nitrógeno gaseoso al ocurrir la desnitrificación. [Romero, 2005]

8.1.9. Carga másica – Relación alimento/microorganismos.

Otro importante parámetro a controlar es el factor de carga másica o razón A/M, que corresponde a la relación entre la cantidad de carga orgánica que se alimenta al sistema y la cantidad total de masa activa. Para un sistema de lodos activados trabajando en la modalidad de aireación prolongada, este parámetro se debe mantener entre 0,05 y 0,2 KgDBO/KgSSVLM.día y entre 0.05 y 1.5 de kgDQO/KgSSVLM.día.

Si el valor calculado para la relación A/M es menor que 0,05 KgDBO/KgSSVLM.día implica que en el sistema hay un exceso de lodos, los cuales deben ser purgados. Si A/M es mayor que 0,2 KgDBO/KgSSVLM.día significa que se debe aumentar la concentración de SST en el estanque aireado;

para ello será necesario detener la purga de lodos, retornando todo el lodo al estanque de aireación.

La relación A/M en el reactor R1 vario entre 0.15 y 0.88 KgDBO/KgSSV.dia, lo cual, nos indica que mientras se aumentó la concentración de lixiviado, disminuyó la masa biológica en el reactor e incrementó la carga orgánica en el afluente. En comparación con el IVL, para este mismo reactor, se puede mencionar que al ir incrementándose la relación A/M, el IVL se encuentra por debajo del mínimo valor para un proceso optimo (ver Gráfico 39).

En cambio en el reactor R2 la relación A/M vario entre 0.08 y 0.28 KgDBO/KgSSV.dia, podemos ver que el rango es el adecuado para el tipo de tratamiento seleccionado. La relación A/M, se mantuvo gracias a la recirculación de lodo del sedimentador secundario, como la carga orgánica en el afluente fue incrementando se requiere de mayor cantidad de microorganismos para la degradación de la materia orgánica. En comparación con el IVL, para este mismo reactor, se puede mencionar que al ir incrementándose la relación A/M, el IVL se encuentra aún se encuentra en el rango para un proceso óptimo

8.1.10. Oxígeno disuelto en los reactores.

La alimentación de oxígeno se llevó a cabo mediante la utilización de un compresor de aire con difusores que permitían una mayor superficie de contacto entre las fases líquida y gaseosa, la concentración de OD en los reactores fue variando debido al incremento de carga orgánica en el tiempo. Es importante mantener una aireación adecuada para evitar la formación de lodos filamentosos y afectar el rendimiento de la biodegradación del proceso por lodos activados.

El Oxígeno disuelto en el reactor R1 presento como valor máximo 7.7 mg/L. a una dilución del 0% y como mínimo 1.57 mg/L. a una dilución del 7%; tal que, al llegar al valor mínimo se incrementó el caudal de suministro de aire para incrementar el oxígeno disuelto en el reactor.

Con respecto al reactor R2, el oxígeno disuelto presento como valor máximo 6.45 mg/L. a una dilución del 1% y como mínimo 1.54 mg/L. a una dilución del 6%; tal que, al llegar al valor mínimo se incrementó el caudal de suministro de aire para incrementar el oxígeno disuelto en el reactor.

Al encontrarse el oxígeno disuelto por debajo de 2 mg/L la eficiencia en ambos procesos disminuyo, por lo cual, se optó por incrementar el caudal en la difusión de aire para cada reactor.

8.1.11. Tiempo de retención.

Para el tipo de sistema empleado el tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este período de aireación permite que las aguas residuales y lodo sean parcialmente digeridos en el tanque aireador, permitiendo su disposición sin ser necesaria una gran capacidad de digestión. Es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre el 90% y 95% para un tiempo de retención hidráulico superior a 8 horas.

Haciendo uso de un conductímetro de campo se realizó las mediciones del trazador en el tiempo, y mediante las concentraciones del mismo se determinó la curva que nos proporciona el tiempo real de retención hidráulica. Para el reactor R1 se tiene como resultado: $T_m = 1482.08 \text{ min} < > 24.70 \text{ horas}$ y para el reactor R2 se tiene como resultado: $T_m = 1299.37 \text{ min} < > 21.66 \text{ horas}$. En comparación

con el tiempo de retención hidráulica teórico la relación en el reactor R1 es de 0.80 y de 0.70 para el reactor R2.

8.1.12. Microorganismos Presente en la Planta a Escala de Laboratorio.

Los microorganismos presentes en los sólidos suspendidos volátiles en los reactores tienen un rol fundamental en la degradación de la materia orgánica, la presencia y abundancia indican el nivel de tratamiento de los lodos activados. Entre los más eficientes encontrados en el sistema evaluado tenemos a los Protozoarios fijos, rotíferos y ciliados nadadores.

La presencia del ciliado fijo *Epistylis plicatilis* en el SSV se relaciona a la buena eficiencia de los reactores R1 y R2, ello está asociado a los mayores requerimientos nutricionales de los organismos y al menor tiempo de retención.

Es importante resaltar que los organismos no se desarrollan indefinidamente, lo hacen en la medida que existan condiciones ambientales favorables, tales como concentración del sustrato, concentración de nutrientes, el tamaño del sistema en el cual se encuentran, pH, temperatura, etc.

CAPITULO 9

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a la investigación realizada podemos afirmar que el empleo de lodos activados con aireación prolongada y recirculación de lodo es una mejor alternativa que el mismo proceso sin recirculación del lodo. Se llega a obtener desde 0.63% hasta 10% de diferencia en porcentaje de remoción (promedio) para la DBO_5 para una dilución (D) que varía de 0% a 8% respectivamente. Asimismo para la remoción de la DQO se obtiene desde 0.2% hasta 11% de diferencia en porcentaje de remoción (promedio) para una dilución (D) que varía de 0% a 7% respectivamente (para $D = 8\%$ se obtuvo un 6.67%)
2. En el reactor R1 las condiciones que cumplen con la normatividad (LMP) son para una dilución del 3.0% en relación de volumen del lixiviado y agua residual. Para estas condiciones de operación el afluente presentó una concentración de DBO_5 191.7 mg/L, una concentración de DQO de 587 mg/L, una relación de DBO/DQO igual a 0.33, una carga orgánica de 0.028 $KgDBO_5/d.$ y 0.085 $KgDQO/d.$ El efluente para estas condiciones óptimas de funcionamiento obtuvo una concentración de la DBO_5 de 22.55 mg/L con una remoción del 88.24% y una concentración de DQO de 193 mg/L con una remoción del 70.87%.
3. En la zona de aireación del reactor R1, para las condiciones indicadas en el ítem anterior, obtuvo una cantidad de sólidos suspendidos totales de 710 mg/L y 514 mg/L de sólidos suspendidos volátiles, con un 72% de la presencia biológica en los SST, la presencia del oxígeno disuelto para estas condiciones fue de 3.1 mg/L, el índice volumétrica de lodos obtuvo un valor de 40.85 ml/g. la carga másica-alimento/microorganismos (A/M) se encontró en 0.29 $KgDBO_5/KgSSV.dia.$ y 0.89 $KgDQO/KgSSV.dia.$

4. En el reactor R2 las condiciones que cumplen con la normatividad (LMP) son para una dilución del 4.0% en relación de volumen entre el lixiviado y agua residual. Para estas condiciones de operación el afluente presentó una concentración de DBO_5 206.36 mg/L, una concentración de DQO de 592 mg/L, una relación de DBO_5/DQO igual a 0.35, una carga orgánica de 0.030 $\text{KgDBO}_5/\text{d.}$ y 0.085 $\text{KgDQO}/\text{d.}$ El efluente para estas condiciones óptimas de funcionamiento obtuvo una concentración de la DBO_5 de 14.97 mg/L con una remoción del 92.75% y una concentración de DQO de 182 mg/L con una remoción del 69.26% de la misma.

5. En la zona de aireación para las condiciones indicadas se obtuvo una cantidad de sólidos suspendidos totales de 2436 mg/L y 1956 mg/L de sólidos suspendidos volátiles, con un 80% de la presencia biológica en los SST, la presencia del oxígeno disuelto para estas condiciones fue de 2.9 mg/L, el índice volumétrica de lodos funcionó en la dilución mencionada fue de 35.3 ml/g. la carga másica-alimento/microorganismos (A/M) se encontró en 0.08 $\text{KgDBO}_5/\text{KgSSV.dia.}$ y 0.23 $\text{KgDQO}/\text{KgSSV.dia.}$

6. Según los valores de pH obtenidos en los reactores (zona de aireación), el valor del pH fluctuó entre 7.07 a 8.79 para el reactor R1 y entre 7.09 y 8.54 para el reactor R2, los organismos encargados de la remoción de la materia orgánica, los cuales se encuentran presentes en la zona de aireación, pueden desarrollarse de manera óptima (es de conocimiento que el metabolismo de los microorganismos es mejor en un pH neutro 6.5 – 8.5) y asegurar una actividad biológica eficiente. El hecho de que el pH se encuentre en el rango óptimo es importante, debido a que este influye sobre el crecimiento y reproducción de los microorganismos. Además, indica que no existen dificultades para el tratamiento de las aguas utilizadas (dilución lixiviado-Agua residual), problema que se presenta cuando las aguas son muy ácidas o muy alcalinas.

7. Durante todo el periodo de investigación la temperatura en el sistema obtuvo una variación comprendida dentro del rango de 16.40 °C. y 22.90 °C. (abril-setiembre). Estos valores se encuentran por debajo de 35°C. valor máximo según los LMP. Estos valores favorecieron a que los organismos encargados de la remoción de la materia orgánica, los cuales se encuentran presentes en la zona de aireación, pueden desarrollarse y asegurar una actividad biológica eficiente.
8. Al recircular el lodo del sedimentador, se produce un incremento en la concentración de sólidos suspendidos volátiles manteniendo una población adecuada de microorganismos y por ende mantienen la relación A/M (0.2 – 0.6) necesario para que los microorganismos tengan la cantidad adecuada de alimento, poco o demasiado alimento causa problemas de sedimentación en el clarificador.
9. Para el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario municipal, teniendo en cuenta la remoción de la DBO₅, se puede evidenciar que el proceso de lodos activados con aireación prolongada sin recirculación del lodo a una dilución del 6% (relación de volumen de lixiviado en agua residual) no es afectada de manera negativa la capacidad de remoción del sistema, con una carga orgánica de 0.06 KgDBO₅/d. y una DBO₅ promedio de 419mg/L, lo que representó un efluente con una DBO₅ de 84.30 mg/L; mientras que en el proceso de lodos activados de aireación prolongada con recirculación del lodo a una dilución del 8.0% no es afectada de manera negativa la capacidad de remoción del sistema, con una carga orgánica de 0.094 KgDBO₅/d. y una DBO₅ promedio de 652mg/L, lo que representó un efluente con una DBO₅ de 93.85 mg/L y manteniéndose por debajo del límite máximo permisible.
10. Para el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario municipal, teniendo en cuenta la remoción de la DQO, se puede evidenciar que el proceso de

lodos activados con aireación prolongada sin recirculación del lodo a una dilución del 3% (relación de volumen de lixiviado en agua residual) no es afectada de manera negativa la capacidad de remoción del sistema, con una carga orgánica de 0.087 KgDQO/d. y una DQO promedio de 605mg/L en el afluente, lo que representó un efluente con una DQO de 199.50 mg/L; mientras que en el proceso de lodos activados de aireación prolongada con recirculación del lodo a una dilución del 4.0% no es afectada de manera negativa la capacidad de remoción del sistema, con una carga orgánica de 0.085 KgDQO/d. y una DQO promedio de 592mg/L en el afluente, lo que representó un efluente con una DQO de 182 mg/L y manteniéndose por debajo del límite máximo permisible.

11. Según los resultados obtenidos en los efluentes se muestra cómo va disminuyendo el porcentaje de estabilización de la materia orgánica a medida que la relación A/M va aumentando.
La relación A/M en el reactor R2 se encontró en un rango bajo, lo cual, es lo más conveniente para el tratamiento de lodos activados con aeración prolongada; mientras en el reactor N°1, la relación A/M aumento debido al incremento de la carga orgánica en el afluente y la disminución paulatina de los sólidos suspendidos totales al no recircular el lodo en dicho reactor.
12. Los flóculos formados en el sedimentador podrán deberse a las condiciones anóxicas que se presentan en dicha zona puesto que el lodo sedimentado ha consumido el oxígeno disuelto y puede que los microorganismos anaerobios presentes produzcan desnitrificación obteniendo nitrógeno gaseoso y óxido nitroso, los cuales suben a la superficie arrastrando los flóculos.
13. Si bien en algunos casos el oxígeno (cuando el volumen de lixiviados estuvo al 6%) estuvo por debajo del valor recomendado la concentración

de oxígeno en promedio fue de 3.4 mg O₂/L. La compresora y los difusores de aire utilizados para el suministro de oxígeno lograron que se realice la una mezcla adecuada dentro del reactor (zona de aireación).

14. El tiempo de retención hidráulico real estuvo por debajo del tiempo teórico estimado (30 horas). Para el reactor R1 se tiene como resultado: $T_m = 1482.08 \text{ min} < > 24.70 \text{ horas}$ y para el reactor R2 se tiene como resultado: $T_m = 1299.37 \text{ min} < > 21.66 \text{ horas}$. En comparación con el tiempo de retención hidráulica teórico la relación en el reactor N°1 es de 0.80 y de 0.70 para el reactor N°2.

15. Durante el proceso en ambos reactores se presentó una capa de espuma de color blanco sobre el área superficial del reactor, comportamiento normal en el proceso de plantas de lodos activados con lodo joven (en formación). En el reactor R1 la presencia de esta espuma también se puede deber a que la concentración de los Sólidos Suspendidos es baja (la no recirculación del lodo), mientras que en el reactor R2 la presencia de esta espuma se puede deber a detergentes o proteínas que no pueden ser convertidas en alimento por las bacterias que crecen en el licor de mezcla.

CAPITULO 10

RECOMENDACIONES

1. Se podría llegar a mayores valores de carga orgánica en el afluente; es decir, un mayor valor de dilución, siempre y cuando, el lixiviado tenga características de vertedero joven, ya que la concentración biológica es más elevada que en vertedero viejo de relleno sanitario municipal.
2. Se recomienda realizar un monitoreo de nutrientes presentes semanalmente, ya que durante la investigación se observó la formación de bulking filamentoso en el reactor R1 y una suspensión de lodo sedimentado en los sedimentadores secundarios debido a la desnitrificación en ambos procesos.
3. Para poder mantener las condiciones de operación optimas en ambos procesos, se recomienda contar con dispositivos adecuados para medición de flujo; asimismo, podrán observarse y controlarse fácilmente los parámetros de funcionamiento que consideran permitentes (relación A/M, edad del lodo, flujo de recirculación, flujo de la purga de lodos de los sedimentadores secundarios).
4. Se debe evitar la interrupción en el suministro de aire y del alimento lixiviado-Agua residual; las cuales no permitirán obtener una estabilidad prolongada en la operación del reactor de lodos activados y por lo tanto niveles de remoción inferiores a los obtenidos.

5. El uso de un lodo de inóculo adecuado (proveniente de una planta con condiciones de funcionamiento similares) es imprescindible, ya que permite reducir sensiblemente el tiempo en el cual el proceso entra en un régimen estable. Es importante resaltar que se requiere contar con un lodo de buena calidad, y hacer un adecuado seguimiento de las etapas de inoculación, aclimatación y arranque de los sistemas.

6. Se recomienda realizar el experimento con una bomba peristáltica para cada reactor, pues los reguladores y dosificadores de caudal empleados tuvieron dificultad en operar óptimamente, pues se obstruían continuamente.

7. Puntos muertos y patrones de mezcla no uniformes indican generalmente difusores atascados o que el difusor necesita ajustes para balancear la distribución de aire en el tanque. La distribución de aire debería ajustarse para mantener un oxígeno disuelto de no menos de 0.5 mg/l y preferentemente de 1.5 a 4 mg/l en todo el tanque. Controlar y limpiar regularmente los difusores.

CAPITULO 11**REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- ❖ Oettinger, Michael y droppelmann, Veronica (2009). Lodos activados en el tratamiento de lixiviados de relleno sanitario. Universidad Andrés Bello. Chile.
- ❖ Álvarez Contreras, Alexander y Suárez Gelvez, John Hermógenes (2006). Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta. Universidad del Norte. Colombia.
- ❖ Yaya Beas, Rosa Elena (2005). Tratamiento anaerobio de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- ❖ López Vázquez, Rafael y Casp Vanaclocha, Ana (2004). Tecnología de mataderos. Ediciones Mundi-Prensa Libros, S.A. España.
- ❖ Romero Rojas, Jairo Alberto (2005). Tratamiento de agua residual. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
- ❖ Giraldo Gómez, Eugenio (1997). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Universidad de Los Andes. Colombia.
- ❖ Qasim, R. Syed y Chiang, Walter. (1994). Sanitary Landfill Leachates: Generation, Control and Treatment. Technomic Publishing Company, Inc. USA.
- ❖ Daphne, L.S. (1994). Hazardous organic waste amenable to biological treatment. Biotechnology for the Treatment of Hazardous Waste. Lewis Publishers. Inglaterra.
- ❖ Jimeno Blasco, Enrique (1988). Análisis de agua y desagüe. Universidad Nacional Ingeniería. Perú.
- ❖ Metcaf, Leonard y Eddy, Harrison (1991). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, disposición, y reuso. Editorial McGraw-Hill. USA.
- ❖ Ramalho R. S., (1991). Tratamiento de aguas residuales. Reverté, S.A. España.
- ❖ Scott, J.P. y Ollis, D.F. (1995). Integration of chemical and biological oxidation processes for water treatment: review and recomendation. North Carolina State University. USA.
- ❖ Kevin Fellin, Mike Cuccinello, y Becky cheadle (1994,1996). Leachate Recirculation, Civil Engineering Dept, virginia Tech. USA.

- ❖ Kruse K. (1998). Leachate treatment; principles and options. Management and treatment of MSW landfill leachate. International Training Seminar. Cagliari, Italy.
- ❖ Marco, A., Esplugas, S. y Saum, G. (1997). How and why combine chemical biological processes for wastewater treatment. Wat. Sci. Technol. USA.
- ❖ Montiel leguey, Vicente, García García, Vicente, Aldaz Riera, Antonio, Exposito Rodríguez, Eduardo, Genesca Francitorra, Roger, Gallud Martínez, Francisco y Ortiz Díaz-Guerra, Juan Manuel. (2012). Sistema de tratamiento de lixiviados mediante electrocoagulación. Oficina Española de Patentes y Marcas. España.
- ❖ APHA-AWWA-WEF. Stándard Methods for the Examination the Water and Wastewater (1995). 19th Edition. Washington. USA.
- ❖ <http://www.monografias.com/trabajos74/lodos-activos/lodos-activos2.shtml>. [citado en 30 de septiembre de 2010].
- ❖ http://books.google.com.pe/books?id=mLhyRECwOqkC&pg=PT41&lpg=PT41&q=DD+metodos+normalizados+para+ analisis+de+aguas+potables+y+residuales&source=bl&ots=HrIMq0rnBb&sig=G0hCNZrF2JYhvF5MKfyoSJyw_-w&hl=es&ei=j_6STKiKDoSclgftn8inCg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCcQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false [citado en 25 de septiembre de 2010].
- ❖ <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/orta.pdf> [citado en 30 de septiembre de 2010].
- ❖ <http://es.wikipedia.org/wiki/Lixiviado> [citado en 17 de septiembre de 2010].

ANEXOS N°1**Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos - ley n°29338 (enero del 2010).**

Inciso N° 2, Artículo 238, Capítulo II, Título IX: Cuando la ejecución de una obra de perforación, ocasione fuga de agua de una napa hacia estratos estériles o interconexión hidráulica de estratos acuíferos con aguas de mala calidad o escape de aguas artesianas, procederá en los dos primeros casos, a la impermeabilización inmediata de las capas del terreno que resultan inapropiadas, y en el tercero, a sellar la obra mientras no disponga de la infraestructura e instalaciones necesarias para el aprovechamiento eficiente de dichas aguas. En los casos señalados se dará aviso inmediato a la Autoridad Nacional del Agua.

Artículo 239, Capítulo II, Título IX: La Autoridad Nacional del Agua dictará normas para la determinación de los perímetros de protección en toda fuente subterránea utilizada para el servicio de agua potable, dentro de los que se prohibirán o restringirán las actividades que puedan contaminar el recurso o pongan en peligro su seguridad, debiendo realizar las siguientes acciones:

- a. Disponer que las aguas subterráneas sean sometidas periódicamente a análisis físicos, químicos y bacteriológicos, en laboratorios acreditados por INDECOPI.
- b. prohibir la construcción y uso de fosas sépticas que permitan filtraciones que contaminen e acuífero.

Ley general de Residuos Sólidos, ley n° 27314 (21-07-00) y su Modificatoria de la Ley General de Residuos Sólidos (d.l. 1065-2008)

Artículo 1, Título I: Objeto: La presente ley establece derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

Inciso N° 2, Artículo 4, Capítulo I, Título II: Adoptar medidas de minimización de residuos sólidos, a través de la máxima reducción de sus volúmenes generación y características de peligrosidad.

Inciso N° 6, Artículo 4, Capítulo I, Título II: Fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y la adopción complementaria de prácticas de tratamiento y además disposición final.

Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos

Artículo 78, Capítulo III, Título V, Operaciones de tratamiento centralizado de residuos del ámbito de gestión municipal: La instalación de tratamiento centralizada de residuos del ámbito de gestión municipal, según corresponda, incluye algunas de las siguientes operaciones:

1. Segregación mecanizada, semi-mecanizada o manual de los elementos constitutivos de los residuos adoptándose las necesarias medidas de salud ocupacional a fin de minimizar los riesgos derivados.
2. Compactación o embalaje de los residuos para que el transporte, reaprovechamiento, comercialización o disposición final sea más eficiente;
3. Biodegradación de la fracción orgánica de los residuos con fines de producción de energía o de un mejorador de suelo.
4. Uso de la fracción orgánica para la producción de humus a través de la crianza de lombrices, o para el desarrollo de prácticas de compostaje.

5. Tratamiento térmico de la fracción orgánica de los residuos a fin de emplearlos como alimento de animales.
6. Otras operaciones de tratamiento, que se puedan diseñar e implementar y que cumplan con los requisitos del Reglamento y normas emitidas al amparo de éste.

Artículo 88, Capítulo IV, Título V, Plan de cierre de Infraestructura: La EPS-RS o la municipalidad provincial que administra una infraestructura de residuos sólidos es responsable de la ejecución del plan de cierre que es aprobado por la DIGESA como parte del EIA o PAMA. Para la ejecución del indicado plan, éste deberá ser replanteado y presentado 25 para su aprobación por la Autoridad de Salud de la jurisdicción, como mínimo 4 años antes del límite del tiempo de vida útil del proyecto de infraestructura , de acuerdo a lo establecido en el literal g) del artículo 8° del Reglamento.

El plan deberá cumplir como mínimo con los siguientes aspectos técnicos, según corresponda al tipo de infraestructura de residuos sólidos:

1. Evaluación ambiental.
2. Diseño de cobertura final apropiada.
3. Control de gases.
4. Control y tratamiento de lixiviados.
5. Programa de monitoreo ambiental.
6. Medidas de contingencia.
7. Proyecto de uso del área después de su cierre.
8. Otros que la autoridad competente establezca.

**Decreto de Alcaldía nº 147: Reglamento de la Ordenanza N°295/mml
“Sistema Metropolitano de Gestión de Residuos Sólidos” (10-12-2001)**

Artículo 127, Capítulo IV, Título I, Parte IV: Tratamiento del Lixiviado: Los lixiviados, serán decepcionados en una poza de captación apropiada en el cual se acumulará para su posterior tratamiento técnico adecuado.

Ley N° 28611 Ley General del Ambiente

Artículo 67°.- Del saneamiento básico: Las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reúso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales, promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento.

Reglamento Nacional de Edificaciones – 2006 OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

En el presente reglamento tiene como objetivo normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo. También en la presente norma está relacionada con las instalaciones que requiere una planta de tratamiento de aguas residuales municipales y los procesos que deben experimentar las aguas residuales antes de su descarga al cuerpo receptor o a su reutilización.

Decreto Supremo N° 00.-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticos o Municipales.

Aprobar los LMP para efluentes de las PTAR domesticas o municipales, los que en anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 3°._ Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de efluentes de PTAR.

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

Límite Máximo Permissible para efluente de PTAR.

PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Decreto Supremo N°003-2010-MINAM