

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA ACUÁTICO DE MACRÓFITAS EMERGENTES CONVERTIDAS A FLOTANTES PARA EL TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DEL REACTOR UASB”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

ELABORADO POR:

JOSÉ FRANK ACOSTA BARTOLO

ASESOR:

ING. JUAN CARLOS ALARCÓN CÓNDOR

Lima, Perú

2018

DEDICATORIA

A mis padres, Roger y Jacqueline, ya que sus consejos y apoyo incondicional han hecho que pueda finalizar mis estudios profesionales, mejorar como persona y aprender a ser agradecido con lo que se consigue en la vida. A mis hermanos, cuya presencia y ayuda ha sido indispensable desde siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Juan Carlos Alarcón Córdor, por brindar consejos, recomendaciones y sugerencias aportadas durante cada etapa de la presente investigación, a partir de su vasta experiencia en el tratamiento de aguas residuales.

Al equipo del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-FIA-UNI), por brindarme la oportunidad de realizar la presente investigación, así como el apoyo de sus integrantes en momentos importantes.

Al equipo del Laboratorio del Agua de la Facultad de Ingeniería Ambiental, por facilitar el desarrollo de experimentos en sus instalaciones, además de aportar con sus consejos y experiencia en cada ensayo.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR FIA UNI), localizado en la zona norte de la Universidad Nacional de Ingeniería, distrito del Rímac – Lima. El objetivo principal de la investigación fue evaluar la eficiencia en reducción de materia orgánica, de nitratos y nitritos de un sistema acuático de macrófitas cuyo afluente provenía de un reactor UASB, usando la planta emergente *Chrysopogon zizanioides* convertida artificialmente a planta flotante.

El humedal de plantas emergentes convertidas a flotantes es un tipo de humedal artificial, cuyo sistema acuático de tratamiento de aguas residuales fue planteado en el año 2001 en España, como una alternativa sostenible en el tiempo, mejorando las condiciones para la operación y mantenimiento del sistema, evitando el costo instalación del medio filtrante y brindando un efluente adecuado en el reúso del mismo para riego.

La presente investigación consta de 4 etapas importantes. La 1^{ra} etapa se enfocó en el arranque del sistema FMF; el 2^{da}, 3^{ra} y 4^{ta} etapa fue sobre la investigación del comportamiento del sistema FMF a 5, 3 y 1 días de Tiempo de Retención Hidráulico teórico respectivamente. En la 2^{da} etapa se alcanzó una eficiencia promedio de 67.06% en reducción de nitratos, 49.78% en reducción de nitritos, 57.5% en reducción de DBO₅, 33.8% en reducción de DQO total y 38.1% en reducción de DQO soluble.

Para la tercera etapa, cuyo Tiempo de Retención Hidráulico fue de 3 días, se obtuvo una eficiencia promedio en reducción de nitratos de 38.09%, la reducción de nitritos fue de 40.54%, en cuanto a la DBO₅ se redujo en promedio un 45.74%, para la DQO total la reducción fue 23.36%, para la DQO soluble se obtuvo una reducción de 29.31%. Finalmente, durante la cuarta etapa se obtuvo una reducción de nitratos promedio de 16.68%, 27.21% en reducción de nitritos, 41.83% en reducción de DBO₅, 19.20% en reducción de DQOt y 17.76% en reducción de DQO soluble.

El mantenimiento y operación del sistema se reduce únicamente a podar las hojas de la macrófita plantada con una frecuencia de 3 a 6 meses aproximadamente. Así como la limpieza del sistema de entrada y salida.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (mg/l)
DQOt	Demanda Química de Oxígeno total (mg/l)
DQOs	Demanda Química de Oxígeno soluble (mg/l)
TRH	Tiempo de retención Hidráulico Teórico (días)
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
OD	Oxígeno disuelto
NO ₂	Nitrito
NO ₃	Nitrato
T	Turbiedad
Tp	Temperatura
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
PS	Peso Seco
SUNASS	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
LMP	Límite Máximo Permisible

INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	IV
GLOSARIO.....	V
INDICE DE TABLAS.....	IX
INDICE DE GRÁFICOS.....	XVIII
INDICE DE FIGURAS.....	XXIV
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
A. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
A. ANTECEDENTES.....	2
B. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
C. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
D. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1. OBJETIVO GENERAL.....	5
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
E. HIPÓTESIS.....	6
F. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
CAPÍTULO III. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	8
A. HUMEDALES ARTIFICIALES.....	8
1. CLASIFICACION.....	8
B. SISTEMAS DE PLANTAS ACUATICAS	8
1.1. SISTEMA DE FILTRO DE MACROFITAS EN FLOTACION.....	8
1.1.1. COMPOSICION.....	8
1.1.2. FUNCIONAMIENTO.....	9
1.1.3. FACTORES INCIDENTES.....	9
1.1.4. MECANISMO PARA LA REMOCION DE CONTAMINANTES.....	10
1.1.4.1. SOLIDOS SUSPENDIDOS.....	10
1.1.4.2. MATERIA ORGANICA.....	11
1.1.4.3. NITROGENO.....	12

1.1.4.4.	PATOGENO.....	12
1.1.5.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	13
1.1.5.1.	VENTAJAS.....	13
1.1.5.2.	DESVENTAJAS.....	13
1.1.6.	PARAMETROS QUE INFLUYEN EN EL SISTEMA FMF.....	13
1.1.6.1.	CLIMATOLOGIA.....	13
1.1.6.2.	PH.....	14
1.1.7.	USOS.....	15
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		16
A.	UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	16
B.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	16
1.	ALMACENAMIENTO.....	16
2.	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RESIDUAL...	17
3.	DISTRIBUCIONDE DE CAULDAL.....	17
4.	HUMEDAL FMF.....	18
5.	MACROFITA UTILIZADA.....	19
6.	RECOLECCION DE CAUDAL TRATADO.....	20
C.	MONITOREO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.	PUNTOS DE MONITOREO.....	20
2.	PARAMETROS.....	21
2.2.	CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTO.....	22
2.3.	TURBIEDAD.....	22
2.4.	CONCENTRACION DE NITRATOS Y NITRILOS....	22
2.5.	CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO.....	22
2.6.	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO(DBO5)....	22
2.7.	DEMANDA QUIMICA DE OXGENO(DQO).....	22
2.8.	SST,SV,ST,SDT.....	23
3.	FRECUENCIA DE MONITOREO.....	23
D.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.	PERIODOS DE LA INVESTIGACION.....	23
2.	CAUDAL DE INGRESO.....	24
3.	MATERIAL FILTRANTE.....	24
4.	PROTECCION CONTRA VECTORES.....	25

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	26
A. 1er PERIODO DE LA INVESTIGACION: PERIODO DE ARRANQUE.....	27
1. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO).....	27
2. TEMPERATURA AMBIENTAL.....	31
3. TEMPERATURA DE AGUA RESIDUAL.....	34
4. TURBIEDAD.....	37
5. EL pH.....	39
6. CONDUCTIVIDAD Y SDT.....	43
7. SOLIDOS TOTALES (ST).....	47
8. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	50
9. SÓLIDOS VOLÁTILES (SV).....	53
10. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT).....	56
B. 2 ^{DO} , 3 ^{ER} Y 4 ^{TO} PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	81
1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.....	59
2. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.....	65
3. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBOLE.....	71
4. NITRATOS.....	77
5. NITRITOS.....	83
6. TEMPERATURA AMBIENTAL.....	89
7. TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL.....	95
8. TURBIEDAD.....	101
9. pH.....	107
10. CONDUCTIVIDAD Y SDT.....	113
11. SÓLIDOS TOTALES (ST).....	122
12. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).....	126
13. SÓLIDOS VOLÁTILES (SV).....	130
14. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT).....	135
15. OXÍGENO DISUELTO.....	139
16. SÓLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES DE LA MACRÓFITA...	143
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES.....	145
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES.....	148
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
ANEXOS.....	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Resumen de resultados de antecedentes presentados según investigación	4
Tabla N° 2: Estadística de la DQO total en el sistema durante el periodo de arranque	27
Tabla N° 3: Estadística de la DQO soluble en el sistema durante el periodo de arranque	27
Tabla N° 4: Estadística del registro de la temperatura ambiental en el sistema durante el periodo de arranque	31
Tabla N°5: Estadística de la temperatura en el sistema durante el periodo de arranque	34
Tabla N° 6: Estadística del registro de la turbiedad en el sistema durante el periodo de arranque	37
Tabla N°7: Estadística del pH en el sistema durante el periodo de arranque.....	39
Tabla N°8: Estadística de la conductividad y sdt en el sistema durante el periodo de arranque	43
Tabla N°9: : Estadística de los sólidos totales en el sistema durante el periodo de arranque.....	47
Tabla N°10: Estadística de los sólidos suspendidos totales en el sistema durante el periodo de arranque.....	50
Tabla N°11: Estadística de los sólidos volátiles totales en el sistema durante el periodo de arranque	53
Tabla N°12: Estadística de los sólidos disueltos totales en el sistema durante el periodo de arranque.....	56
Tabla N°13: Estadística de la DBO ₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	60

Tabla N°14: Estadística de la DBO ₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	60
Tabla N°15: Estadística de la DBO ₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	60
Tabla N°16: Estadística de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	66
Tabla N°17: Estadística de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	66
Tabla N°18: Estadística de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	66
Tabla N°19: Estadística de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	72
Tabla N°20: Estadística de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	72
Tabla N°21: Estadística de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	72
Tabla N°22: Estadística de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	78
Tabla N°23: Estadística de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	78
Tabla N°24: Estadística de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	78
Tabla N°25: Estadística de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	84
Tabla N°26: Estadística de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	84
Tabla N°27: Estadística de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	84

Tabla N°28: Estadística de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	90
Tabla N°29: Estadística de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	90
Tabla N° 30: Estadística de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	90
Tabla N°31: Estadística de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	96
Tabla N° 32: Estadística de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	96
Tabla N°33: Estadística de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	96
Tabla N° 34: Estadística de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	102
Tabla N°35: Estadística de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	102
Tabla N° 36: Estadística de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	102
Tabla N°37: Estadística del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	108
Tabla N° 38: Estadística del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	108
Tabla N°39: Estadística del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	108
Tabla N° 40: Estadística de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	114
Tabla N°41: Estadística de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	115

- Tabla N° 42:** Estadística de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....115
- Tabla N°43:** Estadística de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....123
- Tabla N° 44:** Estadística de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....123
- Tabla N°45:** Estadística de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....123
- Tabla N° 46:** Estadística de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....126
- Tabla N°47:** Estadística de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....127
- Tabla N° 48:** Estadística de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....127
- Tabla N°49:** Estadística de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....131
- Tabla N° 50:** Estadística de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....131
- Tabla N°51:** Estadística de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....131
- Tabla N° 52:** Estadística de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....136
- Tabla N°53:** Estadística de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....136
- Tabla N° 54:** Estadística de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....136

Tabla N°55: Estadística del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	140
Tabla N° 56: Estadística del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	140
Tabla N°57: Estadística del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	140
Tabla N° 58: Registro y estadística de los Sólidos Totales y Sólidos Volátiles de la hoja de la Macrófita utilizada.....	143
Tabla N°59: Registro y estadística del porcentaje de agua de la hoja de la Macrófita utilizada.....	143
Tabla N° 60 Registro de la temperatura ambiental en el periodo de arranque.....	152
Tabla N°61: Registro de la temperatura del humedal artificial durante el periodo de arranque.....	153
Tabla N° 62: Registro de la turbiedad en el periodo de arranque.....	154
Tabla N°63: Registro del pH del humedal artificial durante el periodo de arranque.....	155
Tabla N° 64: Registro de la conductividad y sdt del humedal artificial durante el periodo de arranque.....	156
Tabla N°65: Registro de la DQO total del humedal artificial durante el periodo de arranque	157
Tabla N° 66: Registro de la DQO soluble del humedal artificial durante el periodo de arranque.....	158
Tabla N°67: Registro de los sólidos totales del humedal artificial durante el periodo de arranque	158
Tabla N° 68: Registro de los sólidos suspendidos totales del humedal artificial durante el periodo de arranque.....	158

Tabla N°69: Registro de los sólidos volátiles totales del humedal artificial durante el periodo de arranque	159
Tabla N°70: Registro de los sólidos disueltos totales del humedal artificial durante el periodo de arranque	159
Tabla N°71: Registro de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	159
Tabla N°72: Registro de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH	160
Tabla N°73: Registro de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH	161
Tabla N°74: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	162
Tabla N°75: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH	163
Tabla N°76: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH	164
Tabla N°77: Registro de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....	164
Tabla N°78: Registro de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.	165
Tabla N°79: Registro de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH..	165
Tabla N°80: Registro del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	166
Tabla N°81: Registro del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH	167
Tabla N°82: Registro del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH	168

- Tabla N°83:** Registro de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.169
- Tabla N°84:** Registro de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....170
- Tabla N°85:** Registro de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH171
- Tabla N°86:** Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....172
- Tabla N°87:** Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH173
- Tabla N°88:** Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.173
- Tabla N°89:** Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH...173
- Tabla N°90:** Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH...174
- Tabla N°91:** Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH....174
- Tabla N°92:** Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH174
- Tabla N°93:** Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....175
- Tabla N°94:** Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....175
- Tabla N°95:** Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH2.....175
- Tabla N°96:** Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....176

Tabla N°97: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.	176
Tabla N°98: Registro de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	176
Tabla N°99: Registro de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH	177
Tabla N°100: Registro de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH	177
Tabla N°101: Registro de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	178
Tabla N°102: Registro de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH	179
Tabla N°103: Registro de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH	179
Tabla N°104: Registro de la DBO ₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	179
Tabla N°105: Registro de la DBO ₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	180
Tabla N°106: Registro de la DBO ₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH.....	180
Tabla N°107: Registro de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	180
Tabla N°108: Registro de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.....	181
Tabla N°109: Registro de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH	181
Tabla N°110: Registro de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH	182

- Tabla N°111:** Registro de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH.183
- Tabla N°112:** Registro de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH183
- Tabla N°113:** Registro del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH.....184
- Tabla N°114:** Registro del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH185
- Tabla N°115:** Registro del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH185

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Registro de la DQO total en el afluente y efluente durante el periodo de arranque	28
Gráfico N°2: Comparación entre la eficiencia en remoción de DQO total y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque.....	28
Gráfico N°3: Registro de DQO soluble en el afluente y efluente durante el periodo de arranque	29
Gráfico N°4: Comparación entre la eficiencia en remoción de DQO soluble y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque	29
Gráfico N°5: Diferencia de temperatura ambiental interno y externo del sistema FMF durante el arranque	32
Gráfico N°6: Registro de temperatura ambiental interna y externa durante el periodo de arranque del sistema	32
Gráfico N° 7: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del sistema durante el periodo de arranque.....	35
Gráfico N° 8: Eficiencia del sistema FMF durante el arranque	38
Gráfico N°9: Registro del pH en el afluente y efluente durante el periodo de arranque.....	40
Gráfico N° 10: Diferencia de pH entre el afluente y el efluente durante el periodo de arranque.....	40
Gráfico N° 11: Comparación entre el pH y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque	41
Gráfico N° 12: Registro de los SDT en el afluente y efluente durante el periodo de arranque.....	44
Gráfico N° 13: Comparación entre la eficiencia en remoción de conductividad y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque	44
Gráfico N° 14: Registro de los SDT en el afluente y efluente durante el periodo de arranque.	45

Gráfico N° 15: Comparación entre eficiencia en remoción de sdt y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque	45
Gráfico N° 16: Eficiencia en remoción de sólidos totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque	48
Gráfico N° 17: Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque	48
Gráfico N° 18: Eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque	51
Gráfico N° 19: Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque	51
Gráfico N° 20: Eficiencia en remoción de sólidos volátiles totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque	54
Gráfico N° 21: Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque	54
Gráfico N° 22: Eficiencia en remoción de sólidos disueltos totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque	57
Gráfico N° 23: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque	57
Gráfico N°24: Registro de la DBO ₅ en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	61
Gráfico N°25: Comparación entre la eficiencia en remoción de la DBO ₅ y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.	62
Gráfico N°26: Eficiencia promedio en remoción de DBO ₅ del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días.....	63
Gráfico N°27: Comparación de la DBO ₅ en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	63

Gráfico N°28: Registro de la DQOtotal en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	67
Gráfico N°29: Comparación entre la eficiencia en remoción de la DQOtotal y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	68
Gráfico N°30: Eficiencia promedio en remoción de DQOtotal del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días	69
Gráfico N°31: Comparación de la DQOtotal en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	69
Gráfico N°32: Registro de la DQOsoluble en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.	73
Gráfico N°33: Comparación entre la eficiencia en remoción de la DQOsoluble y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	74
Gráfico N°34: Eficiencia promedio en remoción de DQOsoluble del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días.....	75
Gráfico N°35: Comparación de la DQOsoluble en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	75
Gráfico N°36: Registro de los nitratos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	79
Gráfico N°37: Comparación entre la eficiencia en remoción de nitratos y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días	80
Gráfico N°38: Eficiencia promedio en remoción de Nitratos del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días	81
Gráfico N°39: Comparación de los nitratos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días	81
Gráfico N°40: Registro de los nitritos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	85

Gráfico N°41: Comparación entre la eficiencia en remoción de nitritos y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días	86
Gráfico N°42: Eficiencia promedio en remoción de Nitritos del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días	87
Gráfico N°43: Comparación de los nitritos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	87
Gráfico N°44: Registro de temperatura ambiental interna y externa durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días	91
Gráfico N°45: Diferencia de temperatura ambiental interno y externo del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	92
Gráfico N°46: Comparación de la temperatura ambiental interna y externa durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días	93
Gráfico N°47: Registro de la temperatura en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	97
Gráfico N°48: Diferencia de la temperatura en el afluente y el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	98
Gráfico N°49: Comparación de la temperatura en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	99
Gráfico N°50: Registro de la turbiedad en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días	103
Gráfico N°51: Comparación entre la diferencia de turbiedad del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días..	104
Gráfico N°52 Comparación de la turbiedad en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	105
Gráfico N°53: Registro del pH en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	109

Gráfico N°54: Comparación entre la diferencia de pH del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	110
Gráfico N°55: Comparación de los valores del pH en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días... ..	111
Gráfico N°56: Registro de la conductividad en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	116
Gráfico N°57: Comparación entre la diferencia de conductividad del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	117
Gráfico N°58: Registro de los SDT el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	118
Gráfico N°59: Comparación entre la diferencia de los SDT del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.. ..	119
Gráfico N°60: Comparación de la conductividad en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	120
Gráfico N°61: Comparación de los SDT el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	120
Gráfico N°62: Registro de los sólidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	124
Gráfico N°63: Comparación de los sólidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	125
Gráfico N°64: Comparación de los sólidos suspendidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 día... ..	127
Gráfico N°65: Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 día... ..	128
Gráfico N°66: Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....	132

Gráfico N°67: Comparación de los sólidos volátiles totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 día...133

Gráfico N°68: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....137

Gráfico N°69: Comparación de los sólidos disueltos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 día...138

Gráfico N°70: Valores del oxígeno disuelto del afluente, efluente y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.....141

Gráfico N°71: Porcentaje de los sólidos totales y los sólidos volátiles de la hoja fresca de la macrófita vetiver zizanioides.....144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Dispositivo flotador diseñado por la UPM y su implementación en España.....	2
Figura 2: Esquema adaptado de clasificación de humedales.....	8
Figura 3: Ubicación del reactor utilizado en la investigación	16
Figura 4: Esquema del Sistema de Filtro de Macrófitas en Flotación planteado.....	18
Figura 5: Sistema FMF construido y en operación	19
Figura 6: Condición inicial de la macrófita <i>Chrysopogon zizanioides</i> plantada en el humedal artificial de la investigación	20
Figura 7: Puntos de muestro en el sistema FMF	21
Figura 8: Tanque de almacenamiento de 1100 L y dispositivo regulador de caudal	187
Figura 9: A tres semanas de iniciado el arranque del sistema	187
Figura 10: A seis semanas de iniciado el arranque del sistema	188
Figura 11: Brote de nuevas raíces de la macrófita	188
Figura 12: Presencia de algas en el humedal artificial	189
Figura 13: Presencia de algas en el humedal artificial	189
Figura 14: Presencia de protozoarios en el humedal artificial	190

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

A. INTRODUCCIÓN

Los humedales artificiales (tanto de flujo superficial como sub-superficial) se han convertido en uno de los métodos naturales de tratamiento de aguas residuales de mayor desarrollo en el campo de investigación del tratamiento de aguas residuales domésticas. Estos sistemas llegan a tener una gran diversidad microbiana tal que resulta interesante su capacidad depuradora de las aguas residuales, sumándole el bajo costo de operación y mantenimiento. Sin embargo, los humedales artificiales subsuperficial tienen el inconveniente de la colmatación frecuente del medio filtrante, así como la complejidad del lavado del lecho gravoso y que el costo del medio gravoso puede llegar a aumentar hasta un 30% el costo de construcción (Collado, 2000).

En el presente trabajo de investigación, se plantea el sistema acuático de macrófitas emergentes convertidas a flotantes para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas, sistema que evita el problema de obstrucción del medio y así reduce costos en mantenimiento. Enfocados en el sistema acuático tanto para la remoción de materia orgánica así como de nitratos y nitritos, teniendo en cuenta su uso en clima tropical.

Para tales fines se construirá un canal impermeabilizado de concreto para la evaluación de este sistema, en este canal se plantará la macrófita *Chrysopogon zizanioides* en dispositivos flotadores y el sistema recibirá el efluente del reactor UASB (Upflow Anaerobic Sluged Blanket, por sus siglas en inglés). El sistema en conjunto tratará el agua residual doméstica proveniente de un proceso de cribado y desarenado. La tecnología a evaluar estará ubicado en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos –CITRAR-FIA-UNI.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

A. ANTECEDENTES

El sistema de Filtro de Macrófitas en Flotación (FMF) fue aplicado para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la población del Ayuntamiento de Lorca (región Murcia). Se utilizó al mencionado sistema como tratamiento primario. En la investigación se obtuvo aproximadamente 90% en remoción de materia orgánica expresada como DBO_5 , la remoción de nitrógeno total y fósforo total varió entre valores de 30% y 50%.



Figura 1: Dispositivo flotador diseñado por la UPM y su implementación en España (Fuente: Dr. Jesús Fernández Gonzáles, 2013)

También se estudió el sistema FMF para tratar desechos de una granja de puercos, para este caso se pretrató el agua residual con precipitación físico-química (cloruro férrico) y el efluente de este proceso se trató con el sistema FMF; para el último sistema usado se observó una reducción de la turbiedad de 70%-80%, remoción de DQO de 37%-58% y fósforo de 67%-73%. El estudio concluyó que el sistema de Filtros de Macrófitas en Flotación requiere de 2 m² por habitante equivalente para el tratamiento de aguas residuales domésticas. ⁽⁹⁾

En otra experiencia realizada durante 3 años España, se implementó un área total de canales de 1500 m², un caudal de 200m³/d y un tiempo de

retención hidráulica (TRH) de 6 días; en el estudio se registró una remoción de materia orgánica como DQO de 66%, para el caso de DBO₅ de 81%, en turbiedad una reducción de 66%, en nitrógeno total una remoción de 36% y en fósforo total una remoción de 27%. Para los microorganismos totales y patógenos presentes la reducción media fue superior al 95%. ⁽¹⁰⁾

En el 2008 en la Universidad de Chulalongkorn (Bangkok, Tailandia) se estudió la capacidad depuradora de aguas residuales domésticas de la macrófita *Vetiveria zizanioides* cultivado en plataformas flotantes. Dicho estudio varió el tiempo de retención hidráulica con 3, 5 y 7 días obteniéndose una mayor eficiencia con el tiempo de 7 días.

Para este último tiempo de retención se obtuvo una reducción promedio de DBO₅ de 90.5%-91.5%, para el nitrógeno total una reducción de 61.0%-62.5% y para el fósforo total se observó una remoción de 17.8%-35.9%. En el sistema se plantó 55 ramales de la macrófita *Vetiveria zizanioides* en cada línea de tratamiento, una línea de tratamiento consta de 3 estanques en serie. ⁽⁶⁾

Otra experiencia desarrollada en Perú llevó a cabo un estudio comparativo entre el sistema de Filtro de Macrófitas en Flotación (usando la *Schoenoplectus californicus*) y una laguna aerobia. Las dos tecnologías fueron evaluadas a tiempos de retención hidráulica de 20 horas y 3 días. Para el TRH de 3 días se obtuvo una eficiencia en remoción de turbiedad en el sistema FMF de 77.52 % siendo el valor mínimo registrado de 17 UNT y el máximo de 38 UNT; los valores de conductividad redujeron a 15.27% en el sistema FMF.

Para el TRH de 20 la eficiencia en remoción de turbiedad fue de 88.5 % siendo el valor mínimo de 2.6 UNT y el máximo de 13.8 UNT. La conductividad removida fue similar en ambas tecnologías (21 %) y la remoción de materia orgánica expresada como DQO fue de 50% también en ambas tecnologías. ⁽¹¹⁾

	Reción Murcia. Desague Doméstico.	Efluente de Granja de Puercos	Aeropuerto Madrid. Barajas	Universidad de Chulalongkorn	Universidad Nacional de Ingeniería
Area	2 m2/hab	-	1500 m2	3.7 m2	0.24 m2
% Remoción de DBO5	90	-	81	91	-
% Remoción de DQO	-	37-58	66	-	50
% Remoción Nitrógeno Total	30	-	36	62	-
% Remoción Fósforo Total	50	67-73	27	18-36	-
% Remoción Turbiedad	-	70-80	66	-	88.5
Tiempo de retención Hidrau.	-	-	6 días	7 días	20 horas
Caudal de operación (l/día)	-	-	200000	225.8	78
Macrófita utilizada	-	-	-	<i>Vetiveria zizanioides</i>	<i>Schoenoplectus californicus</i>

Tabla 1: Resumen de resultados de antecedentes presentados según investigación. (Fuente propia)

B. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el Perú se ha venido investigando sobre humedales artificiales del tipo sub-superficial y superficial ya que tienen una gran capacidad depuradora tanto de materia orgánica como de nutrientes. Sin embargo, existen inconvenientes en los humedales subsuperficiales como el hecho que el material granular (grava) puede incrementar hasta un 30% el costo total constructivo, según Collado (2000), y la frecuente colmatación del medio genera problemas en la operación del sistema.

El sistema FMF estudiado en diferentes investigaciones ha mostrado ser una tecnología adaptable a las condiciones en que es sometida (aplicado como tratamiento primario o secundario) y dando buenos resultados en remoción de nutrientes y materia orgánica.

De lo anterior se desprende la necesidad de investigar sistemas de tratamientos que proporcionen opciones que se adecuen a las condiciones locales. Aprovechando la importante área específica que tiene el sistema

radicular del sistema FMF, reduciendo costos en construcción y mantenimiento del sistema al evitar la grava como medio de fijación de la macrófita, se plantea la evaluación de la presente tecnología de tratamiento de aguas residuales como investigación.

C. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se plantea el Sistema Acuático de Macrófitas Emergentes Convertidas a Flotantes donde la calidad del agua residual de ingreso será el efluente de un Reactor UASB. Determinar cuál es la eficiencia en remoción de materia orgánica expresada como $DQO_{soluble}$, DQO_{total} , DBO_5 y nutrientes expresados como nitratos y nitritos del sistema mencionado, evaluado a tiempos de retención hidráulica de 1 día, 3 días y 5 días es la propuesta de la presente investigación.

D. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la eficiencia en reducción de materia orgánica, de nitratos y nitritos de un sistema acuático usando la planta emergente *Chrysopogon zizanioides* sobre un medio de soporte como unidad de tratamiento secundario.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la eficiencia en reducción de materia orgánica analizada como DBO_5 , DQO_{TOTAL} y $DQO_{SOLUBLE}$ en el sistema acuático de macrófitas emergentes convertidas a flotantes a tiempos de retención hidráulica de 3, 5 y 7 días.
- Determinar la eficiencia en reducción de sólidos totales, volátiles, suspendidos totales, disueltos totales, nitratos, nitritos y turbiedad en el afluente y efluente en un sistema FMF a tiempos de retención hidráulica de 3, 5 y 7 días.
- Determinar la tasa de crecimiento de la altura de la macrófita *Chrysopogon zizanioides* en el sistema acuático de macrófitas emergentes convertidas a flotantes.

- Determinar la porosidad de la mata de raíces del sistema acuático de macrófitas emergentes convertidas a flotantes con respecto al tiempo. También determinar el volumen de lodo producido en el fondo del canal del sistema propuesto al final de la investigación.
- Evaluar el pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto en el afluente y efluente del sistema FMF a tiempos de retención hidráulica de 3, 5 y 7 días.

E. HIPÓTESIS

La eficiencia en reducción de materia orgánica y nitrógeno en sistema acuático con macrófitas emergentes convertidas a flotantes será mayor al 65% y 30%, cuyo comportamiento estará en función a la concentración de DBO_5 , $\text{DQO}_{\text{total}}$, $\text{DQO}_{\text{soluble}}$, Nitratos y Nitritos tanto en el afluente como en el efluente

F. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1. Variables Independientes

- Concentración de Demanda Química de Oxígeno disuelto en el afluente y efluente
- Concentración de Demanda Química de Oxígeno total en el afluente y efluente
- Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno total en el afluente y efluente
- Concentración de Sólidos Suspendidos Totales en el afluente y efluente
- Concentración de Nitratos y Nitritos en el afluente y efluente
- Temperatura ambiental y del agua residual en el afluente y efluente
- pH en el afluente y efluente
- Tiempo de Retención Hidráulica

2. Indicadores

- Demanda Química de Oxígeno
- Demanda Bioquímica de Oxígeno

- Sólidos Suspendidos Totales
- Sólidos Totales
- Sólidos Disueltos Totales
- Nitratos y Nitritos
- Turbiedad

3. Variable Dependiente

- Eficiencia en reducción de materia orgánica y nutrientes

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO

A. HUMEDALES ARTIFICIALES

1. CLASIFICACIÓN

En esencia hay tres líneas de desarrollo tecnológico de humedales artificiales y pueden ser los humedales de flujo superficial, los humedales de flujo sub-superficial y los humedales con las plantas flotando sobre la superficie del agua. El último sistema usa a plantas naturalmente flotantes como el jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) o la lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales; el filtro de macrófitas en flotación está incluido en el último sistema mencionado.

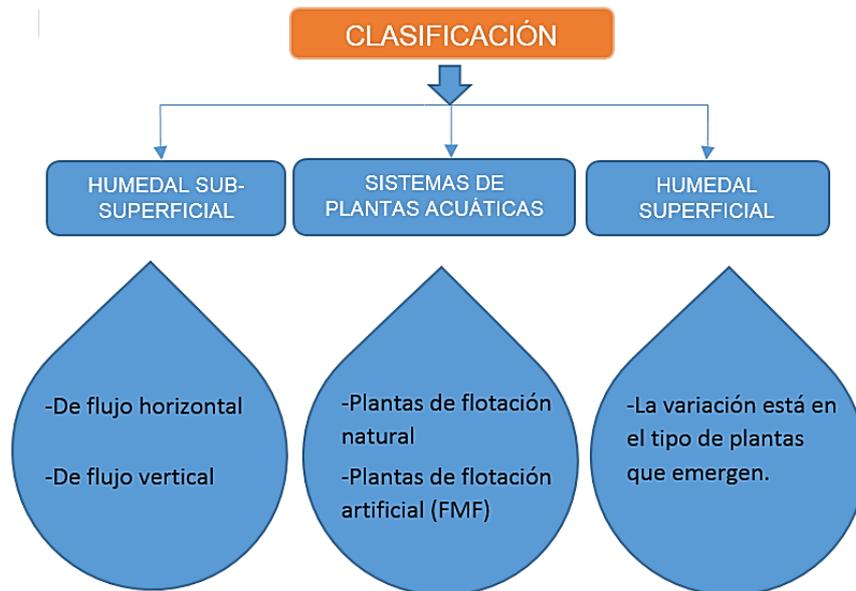


Figura 2: Esquema adaptado de clasificación de humedales (Dr. Mariano Seoáñez Calvo, 1999)

B. SISTEMA DE PLANTAS ACUÁTICAS

1.1. SISTEMA DE FILTRO DE MACRÓFITAS EN FLOTACIÓN

1.1.1. COMPOSICIÓN

El filtro de macrófitas en flotación es un sistema que combina las ventajas de los humedales artificiales de flujo superficial y de los sistemas acuáticos reduciendo al mismo tiempo sus inconvenientes. Su estructura y tipo de flujo

es similar al de los humedales artificiales de flujo superficial. Lo más resaltante en esta tecnología es que utiliza a la vegetación emergente como vegetación flotante.

Aquí, macrófitas como los juncos, que son especies de suelos permanentemente húmedos, se hacen crecer como plantas flotantes con el objetivo que su sistema radicular y órganos sumergidos de reserva se entrelazan formando un tapiz filtrante que esté permanentemente bañado por el agua residual. El tratamiento del agua residual es similar al sistema de humedal artificial de flujo superficial.

La fijación de las plantas se hace mediante un sistema que comprende un flotador, un dispositivo de enganche que asegura la distancia entre las plantas y un lastre que permita que la planta esté sumergida.

1.1.2. FUNCIONAMIENTO

El proceso general consiste en la entrada de aguas residuales procedentes de los vertidos urbanos o industriales, en su paso y estancia en el humedal, y en la salida de unos efluentes que han sido despojados de gran parte de los productos ajenos a la composición normal del agua, que habían sido aportados durante su uso industrial o urbano.

1.1.3. FACTORES INCIDENTES

En un humedal artificial se deben de tener en cuenta los siguientes factores incidentes:

- Caudal del líquido a recibir.
- Características de ese líquido (composición).
- Objetivos de la instalación del humedal.
- Sustrato apropiado.
- Selección de la vegetación a implantar.
- Condiciones ecológicas de la zona (temperatura, humedal, topografía, etc.).
- Parámetros de diseño:
 - Tiempo de retención hidráulica.
 - Profundidad.
 - Figura geométrica.

- Dimensiones.
- Carga admisible de DBO₅.
- Carga admisible de otros contaminantes.
- Fluctuaciones de la carga hidráulica

1.1.4. MECANISMO PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES

1.1.4.1. SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Se denominan sólidos en suspensión a aquellos sólidos que quedan retenidos en un filtro estandarizado de tamaño de poro 1.2 μm . Los procesos que conducen a su remoción dependen del tipo de humedal y de la categoría de partículas que contenga el agua residual: sólidos sedimentables (tamaño $>100 \mu\text{m}$), partículas supracoloidales (1-100 μm), coloides (10^{-3} -1 μm) y sólidos solubles (tamaño $<10^{-3} \mu\text{m}$). Los sólidos sedimentables caen al fondo del sistema fácilmente por gravedad, mientras que los coloides no.

En los sistemas de flujo de agua libre (flujo superficial) los sólidos en suspensión se eliminan por mecanismos de floculación/sedimentación y filtración/intercepción. Hay que señalar que además de los sólidos que contenga el influente el sistema puede también generarlos como consecuencia de restos de plantas, microorganismos y precipitados.

La floculación ocurre naturalmente por unión de partículas cargadas eléctricamente que colisionan entre sí, bien por el discurrir del agua, o bien por efecto de las partes sumergidas de las plantas. Una vez alcanzado un determinado tamaño de flóculo, éstos sedimentan. Se calcula que la sedimentación de sólidos sedimentables y partículas supracoloidales ocurre, en condiciones estándar, en cerca de 3 días.

El proceso de filtración del influente no suele ser muy significativo salvo que las partes sumergidas de las plantas formen un entramado denso. En cambio, el proceso de intercepción, acompañado de agrupación de partículas o adhesión de éstas a la superficie de las partes sumergidas de las plantas, sí que lo es. (Jesús Fernández Gonzáles, 2001)

1.1.4.2. MATERIA ORGÁNICA

Los procesos que conducen a la remoción de la materia orgánica son de dos tipos: físicos y biológicos, ambos estrechamente inter-relacionados. La materia orgánica que llega en el influente puede encontrarse en forma de partículas, coloides, supracoloides o disuelta. En los tres primeros casos, los principales procesos que conducen a su separación física son similares a los indicados para los sólidos en suspensión: floculación y sedimentación. Además, pueden darse procesos de adsorción y absorción en la materia orgánica disuelta, procesos que genéricamente se denominan procesos de 'sorción' y que están relacionados con las características superficiales del sólido o cuerpo sobre el que se producen.

La materia orgánica biodegradable sirve como sustrato a múltiples organismos para desarrollarse. La disponibilidad de oxígeno en el influente, determinada a través del parámetro DBO, condiciona el tipo de microorganismos que intervienen en la degradación de la materia orgánica. Los microorganismos aerobios requieren oxígeno como aceptor de electrones disuelto para desarrollarse y son muy eficientes en la transformación de la materia biodegradable en compuestos minerales, gases, y biomasa microbiana.

Por ello, las condiciones de aerobiosis son más adecuadas para reducir la contaminación por materia orgánica, que las de anaerobiosis. Aun así es importante saber la concentración de la materia orgánica.

Como ya se ha indicado, la disponibilidad de oxígeno es un factor fundamental para la remoción bioquímica de la materia orgánica. Esta disponibilidad dependerá del balance en el sistema entre el consumo (por respiración, fundamentalmente) y las aportaciones de oxígeno. Las posibles fuentes de oxígeno en el sistema provienen de la aireación superficial (oxígeno procedente de la atmósfera), fotosíntesis (oxígeno liberado por organismos fotosintéticos, a consecuencia de la fotoasimilación del carbono), y transferencia de la planta (liberación de oxígeno presente en el aerénquima. (Jesús Fernández Gonzáles, 2001)

1.1.4.3. NITRÓGENO

El nitrógeno está presente en las aguas residuales en forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y nitrógeno orgánico de mayor a menor nivel de oxidación. Todas estas formas, incluido el nitrógeno gaseoso (N_2 , NO_x), forman parte del ciclo del nitrógeno porque están inter-relacionadas bioquímicamente.

La concentración de nitrógeno total en el influente del humedal, procedente de un tratamiento primario, suele estar en el rango de 8 a 85 mg/L, correspondiendo en general los valores más bajos a los efluentes de un pre-tratamiento de lagunaje, y los valores más altos a los de un pretratamiento convencional. El nitrógeno amoniacal (1-40 mg/L) y el nitrógeno orgánico son las dos formas predominantes en el influente. En cambio, el nitrógeno nítrico suele ser muy bajo (0-1 mg/L), correspondiendo los valores más altos a los efluentes del pre-tratamiento por lagunaje. Los procesos de remoción del nitrógeno en los humedales artificiales son de tipo físico - químico y biológicos. (Jesús Fernández Gonzáles, 2001)

1.1.4.4. PATÓGENOS

Las aguas residuales pueden contener un amplio espectro de organismos patógenos, entre los que se incluyen helmintos, protozoos, hongos, bacterias o virus. Sin embargo, para caracterizar rutinariamente el grado de contaminación del agua únicamente se realiza la determinación de un grupo de microorganismos que sirva como índice de contaminación fecal, ya que la caracterización completa sería inabordable económicamente. El indicador más común utilizado es el recuento de coliformes termotolerantes.

Los patógenos pueden encontrarse en la fracción de sólidos del afluente, o en suspensión en el agua. En el primer caso, los patógenos pueden separarse del agua por los procedimientos asociados con la remoción de sólidos, es decir, por sedimentación, intercepción y adsorción/absorción.

Una vez separados pueden quedar retenidos en las biopelículas o en el sedimento, o bien volver a incorporarse al flujo. (Jesús Fernández Gonzáles, 2001)

1.1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

1.1.5.1. VENTAJAS

- Mayor economía ya que no se utiliza el sustrato sólido como grava.
- Menor costo de implantación (no se necesita vaciar el canal).
- No hay colmatación del medio (el medio es el sistema radicular siempre en movimiento)
- Menor costo de mantenimiento (no requiere lavar el medio).
- Mayor capacidad de depuración (sistema radicular sumergido).

1.1.5.2. DESVENTAJAS

- Es sistema no puede estar mucho tiempo con falta de agua en el canal
- Posibles plagas o enfermedades pueden matar a la macrófita.
- Sustancias nocivas para las macrófitas como herbicidas pueden causar la muerte de la totalidad de las macrófitas.
- Si no se controla proliferación de vectores como zancudos o mosquitos, estos pueden causar brote de enfermedades transmitidas por estos insectos en poblados cercanos al sistema de tratamiento.

1.1.6. PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL SISTEMA FMF

1.1.6.1. CLIMATOLOGÍA

El clima es un factor condicionante de primer nivel. La energía luminosa recibida por el humedal, la temperatura y la pluviometría son factores básicos a tener en cuenta, como se indica a continuación.

➤ Energía

La energía que reciben los vegetales para su crecimiento y para que mantengan el ciclo biogeoquímico, es un factor determinante de la posibilidad de uso de los humedales artificiales. La energía recibida depende directamente de la latitud del lugar de ubicación, pues es el

Sol la fuente de emisión. En invierno, según el lugar, disminuyen más o menos la duración del día y el ángulo de incidencia de las radiaciones, lo que tiene ciertas consecuencias.

➤ Temperatura

La actividad microbiológica depende directamente de la temperatura existente en los lugares de vertido.

➤ Evapotranspiración

La evapotranspiración está relacionado con la energía calorífica y con la humedad. En todo sistema se debe tener en cuenta las pérdidas del líquido por estas vías, sobre todo si las temperaturas alcanzan ciertos valores, se calcula que a partir de los 24°C de temperatura media diaria, se pueden perder más de 5 cm/día de agua.

➤ Precipitación

Las precipitaciones intensas pueden provocar los siguientes fenómenos:

- Diluciones del agua residual que llega al humedal
- Posible rebosamiento de las instalaciones
- Posibilidad de arrastres por escorrentía superficial
- Aumenta la turbiedad del agua residual

1.1.6.2. pH

El pH indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se utiliza esta notación como medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa. Muchas propiedades de las sustancias químicas dependen de la concentración del ión hidrógeno en solución (pH).

En las aguas residuales urbanas, el pH se encuentra entre 6.5 y 8.5. Valores elevados (mayores a 9.2) tienen efectos inhibidores del crecimiento de E. coli. Cuando los valores están comprendidos entre 5 y 9 la vida de especies acuáticas es favorecida. En un vertido ácido se disuelven los metales pesado; a su vez, el pH alcalino ocasiona precipitación de los metales. (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade, 2010)

1.1.7. USOS

El sistema de Filtro de Macrófitas en Flotación puede servir para el tratamiento terciario (eliminación de elementos minerales eutrofizantes) en los efluentes secundarios o también para el tratamiento secundario por medio de los microorganismos adheridos al sistema radicular de las plantas.

También favorece la reducción de los sólidos suspendidos al quedar adheridos al sistema radicular. Es posible usarlo para efluentes eutrofizados agrarios o efluentes de industrias que produzcan vertidos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio; algunas especies de macrófitas emergentes son capaces de asimilar compuestos tóxicos como los fenoles y acumular cantidades importantes de metales pesados. (Jesús Fernández González, 2001)

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

A. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La presente investigación se realizó en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR FIA UNI), localizado en la zona norte de la Universidad Nacional de Ingeniería, Sector T del campus universitario, la que pertenece a la jurisdicción del distrito del Rímac – Lima.



Figura 3: Ubicación del reactor utilizado en la investigación.

B. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

1. ALMACENAMIENTO

El agua residual que se usaba como afluente en la investigación se obtenía a partir del bombeo del efluente de un reactor UASB a escala piloto, para luego ser almacenado en un tanque de 1100 litros de capacidad. El tanque de almacenamiento tenía 50 cm de altura sobre la superficie del humedal artificial.

2. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RESIDUAL

El sistema de abastecimiento de agua residual se daba a través del bombeo del efluente de un reactor UASB, la bomba se localizaba en la zona del espejo de agua del reactor, de manera que el agua residual a evaluar se impulsaba hacia el tanque de almacenamiento anteriormente descrito.

El bombeo del agua residual hacia el tanque de almacenamiento implica un cambio en el agua residual, ya que esto implica una posible aireación del agua residual, así como la trituración de los sólidos orgánicos o inorgánicos. Estos efectos, junto con el mismo almacenamiento, cambian ligeramente las condiciones del agua residual del efluente del reactor UASB.

3. DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL

El caudal de entrada de agua residual al humedal artificial fue regulado por un dispositivo que mantenía la altura del fluido constante sobre la superficie del humedal artificial, dicho dispositivo estaba compuesto por una galonera N° 10, llevaba dentro una válvula y un flotador, este último mantenía constante el nivel de agua residual sobre el humedal.

Luego, el agua residual se conducía desde el dispositivo regulador de caudal hacia el elemento de distribución uniforme de caudal, el cual estaba compuesto, de manera artesanal, de tuberías de PVC de Ø1/2" y accesorios.

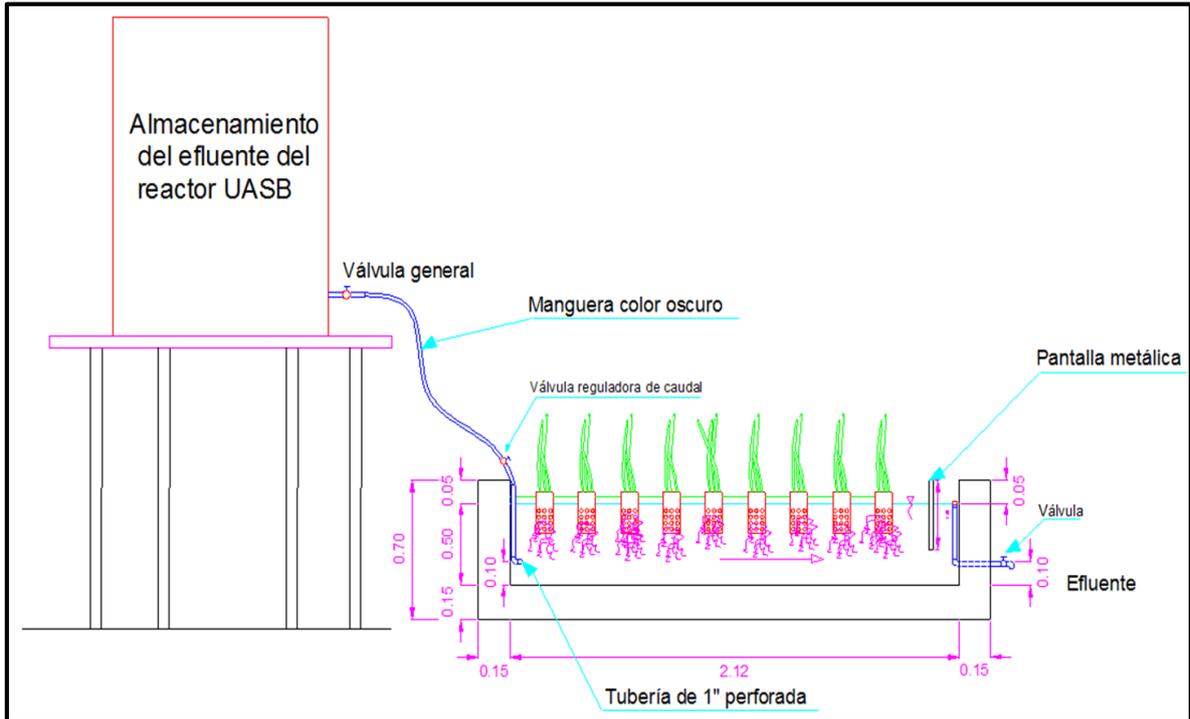


Figura 4: Esquema del Sistema de Filtro de Macrófitas en Flotación planteado. (Fuente propia)

4. HUMEDAL FMF

El humedal de Filtro de Macrófitas en Flotación Artificial o sistema FMF implementado estuvo compuesto de un canal impermeabilizado construido a base de ladrillo y mortero, una red metálica plastificada colocada a 10 cm de la superficie de la película de agua, 50 botellas de plástico de 1/2 litro, una malla anti vectores para evitar la proliferación de los mismos, 50 siembras de la planta *Chrysopogon zizanioides* y una pantalla deflectora.

La función de la malla metálica plastificada fue de mantener a las botellas de plástico fijas, de manera que estas últimas puedan conservar la verticalidad de la planta *Chrysopogon zizanioides*, que por sí sola no puede flotar. Detalles del sistema en plano se puede observar en el anexo de la presente investigación.



Figura 5: Sistema FMF construido y en operación. (Fuente propia)

5. MACRÓFITA UTILIZADA

La *Chrysopogon zizanioides* es una macrófita de bajo costo (S/ 1.00 por cada plantación), con poca frecuencia en mantenimiento (1 podada en 6 meses); la planta macrófita puede soportar hasta 6 meses de sequía y no es invasiva, es decir, que no compite con otras especies de plantas de sus alrededores.

La planta *Chrysopogon zizanioides* que plantó tuvieron 30 cm de altura aproximadamente, de color amarillo crema, con muy poco verdor en sus hojas y de raíces pequeñas, como se puede ver en la siguiente imagen.



Figura 6: Condición inicial de la macrófita *Chrysopogon zizanioides* plantada en el humedal artificial de la investigación. (Fuente propia)

6. RECOLECCIÓN DE CAUDAL TRATADO

La recolección del caudal del agua residual tratada fue a través de una pantalla deflectora que se usó para eliminar los sólidos que flotan en la película de agua, dicha pantalla fue de triplay cubierta con plástico para evitar la humedad.

Luego el agua residual era captada en una tubería de PVC de Ø1/2" perforada en toda su longitud, de manera que el flujo del agua residual pueda ser uniforme. La tubería de PVC abarcaba todo el ancho del humedal y así mejorar el flujo del sistema. Una vez captada el agua tratada, se conducía el mismo hacia una válvula de salida del humedal, desde el cual se hacían los muestreos.

C. MONITOREO DE LA INVESTIGACIÓN

1. PUNTOS DE MONITOREO

Los puntos de monitoreo se hicieron a la entrada y a la salida del humedal artificial. La muestra de agua residual de entrada se tomó desde una manguera de hule color negro que va hacia el sistema de

distribución de caudal, dicha manguera se extraída del sistema mencionado para poder efectuar el muestreo. La manguera se eligió color negro para evitar la proliferación de algas en su interior.

Por otro lado, el punto de muestro a la salida del reactor se realizó mediante una válvula a la salida de humedal (ver figura 9) de manera que el agua residual hacía un recorrido en U desde la tubería perforada de captación hasta la válvula que se muestra.

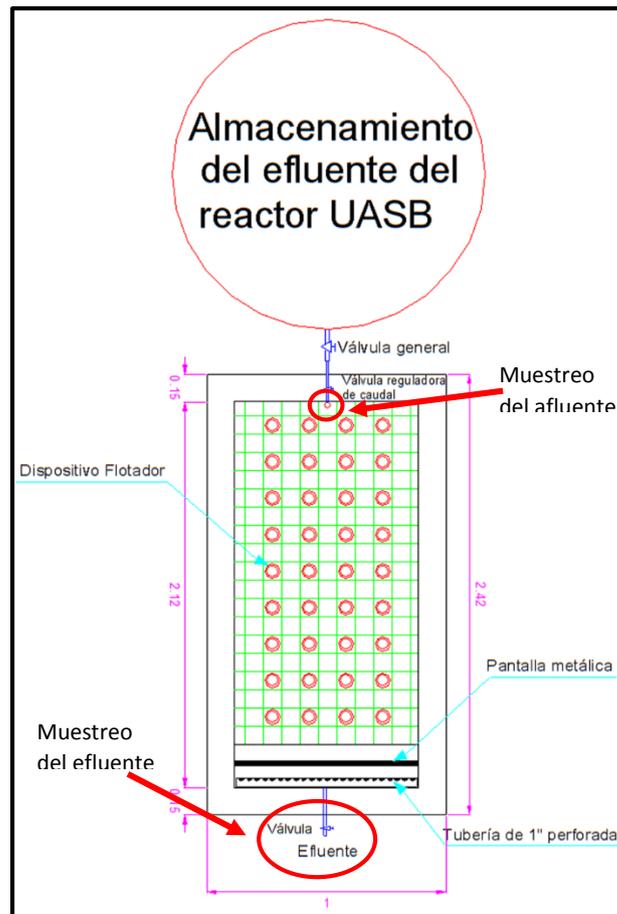


Figura 7: Puntos de muestro en el sistema FMF.

2. PARÁMETROS

2.1. pH y Temperatura

Los parámetros como pH y temperatura se midieron con el pH-metro HACH AQ11D; el tiempo desde el recojo de muestra hasta el medición del parámetro era de 4 minutos aproximadamente.

2.2. Conductividad y sólidos disueltos

La conductividad y la medición indirecta de sólidos disueltos totales (SDT) se midieron con el equipo OAKTON PC 2700. La conductividad fue medida en $\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y los sólidos disueltos totales en ppm.

2.3. Turbiedad

La turbiedad fue medida con el equipo HACH 2100 Q. La unidad de utilizada fue la Unidad Nefelométrica de Turbidez (UNT)

2.4. Concentración de nitratos y nitritos

La concentración de nitritos y nitratos se realizó con el colorímetro HACH 890 reactivos en sobres o sachets de medición NITRAVER 3 (0-30 ppm) y NITRAVER 5 (0-150 ppm).

2.5. Concentración de oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en el humedal se efectuó con el equipo HACH HQ40D y en unidades de ppm.

2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ se realizó en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA), siguiendo los "STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater - 2005", de manera que se llevaba la muestra desde el CITRAR hasta la FIA en un recipiente térmico y con geles refrigerantes, demorando dicho trayecto aproximadamente 60 minutos hasta su incubación. La unidad de medida del presente parámetro es en ppm.

2.7. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La determinación de la Demanda Química de Oxígeno fue efectuada con el equipo HACH 890 y con viales de digestión de DQO, de rango de 20-1500 ppm. El digestor fue HACH DRB 200.

2.8. SST, SV, ST, SDT

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Volátiles (SV), Sólidos Totales (ST) y los Sólidos Disueltos Totales (SDT) se midieron con el procedimiento de los "STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater - 2005". Todos los parámetros fueron medidos en ppm

3. FRECUENCIA DE MONITOREO

Durante la investigación propiamente dicha, se evaluaron diariamente y hasta 3 veces por día parámetros como pH, temperatura, turbidez, conductividad, sólidos disueltos.

El oxígeno disuelto se midió de manera interdiaria y a veces diaria. Igual frecuencia se tuvo con los nitratos y nitritos.

Con una frecuencia de hasta 3 veces por semana se evaluaron la DBO₅, DQO, ST, SV, SST, SDT, esto es por el motivo de costos de medición y labor realizada para efectuar dichos análisis, así como también permisos al laboratorio de la FIA.

D. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1. PERIODOS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación consta de 4 periodos importantes y son: el 1^{er} periodo que corresponde al arranque del sistema FMF que empieza el día 11 de noviembre del 2015 y termina el día 29 de abril del 2016, haciendo un total de 171 días calendarios. Durante este periodo el sistema operó a 3 días de Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) por motivos de facilidad de operación y adecuación del investigador.

Durante el 2^{do} periodo el sistema FMF se operó a 5 días de TRH, empieza el día 30 de abril del 2016 y termina el día 27 de junio del 2016, haciendo un total de 59 días calendarios.

Durante el 3^{er} periodo el sistema FMF se operó a 3 días de TRH, empieza el día 28 de junio del 2016 y termina el día 08 de agosto del 2016, haciendo un total de 42 días calendarios.

Durante el 4^{to} periodo el sistema FMF se operó a 1 día de TRH, empieza el día 09 de agosto del 2016 y termina el día 30 de setiembre del 2016, haciendo un total de 53 días calendarios.

2. CAUDAL DE INGRESO

Como se describió anteriormente en la página 23, el caudal era regulado por un dispositivo regulador de caudal (ver imagen Figura 7), el mismo que mantenía constante el caudal del sistema en cada periodo de investigación.

Se realizó el cálculo matemático para asignar un caudal a cada periodo de investigación que le correspondía un tiempo de retención hidráulico determinado, como sigue:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

Donde: Q: Caudal (l/día)

Volumen: Volumen total del sistema (litros)

Tiempo: tiempo de retención hidráulica teórico (días).

Por lo tanto, para un TRH teórico de 5 días, el caudal a abastecer al sistema es de 216 l/día; para un TRH teórico de 3 días el caudal abastecido es de 360 l/día; finalmente, para un TRH teórico de 1 día el caudal suministrado al sistema es de 1065.6 l/día.

3. MATERIAL FILTRANTE

El sistema radicular que se logra formar en un sistema FMF es un elemento importante dado que este es el medio de fijo para la biopelícula que ayudará a la reducción de la concentración de materia orgánica expresada como DBO₅ o DQO. Así mismo servirá como medio

de adsorción y absorción de los nutrientes que la planta puede asimilar del agua residual.

Por lo tanto, mientras más densa sea el sistema radicular, mayor eficiencia en remoción de materia orgánica tendrá el humedal artificial. Así mismo, por ser las raíces un material que está en constante movimiento debido a su crecimiento y muerte, el sistema prácticamente no se obstruye y mantiene su funcionamiento normal por mucho tiempo.

4. PROTECCIÓN CONTRA VECTORES

En los humedales superficiales la desventaja es la proliferación de zancudos cuando se instalan en zonas de costa y selva, pensando así que su aplicabilidad sería mejor aprovechada en zonas de altitud superiores a los 2000 msnm (Revista Peruana de Epidemiología, 1995)

Uno de las acciones importantes de prevención contra vectores como los zancudos fue la instalación de una malla mosquitera alrededor de todo el humedal (ver Figura N° 5). Se escogió la malla de color blanco para evitar que la temperatura dentro del humedal aumente significativamente.

La malla mosquitera puede tener consecuencias inmediatas en la temperatura ambiental dentro del humedal, ya que esta aumentaría la temperatura dentro del humedal.

CAPITULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los parámetros utilizados en la presente investigación fueron seleccionados con el fin de describir cualitativamente el comportamiento del sistema de macrófitas emergentes convertidas a flotantes artificialmente para el tratamiento del efluente de un reactor UASB, es así que se evalúan parámetros como DBO₅, DQO, pH, temperatura, entre otros que ayudan a tal objetivo.

Además, la elaboración de gráficas de los valores de estos parámetros en el tiempo facilita el análisis de eficiencias en remoción de cada parámetro evaluado. También se toma en cuenta las causas y posibles responsables de tales comportamientos en el sistema del humedal artificial

PERIODO DE ARRANQUE

El inicio del periodo de arranque se considera desde que empieza la operación del sistema FMF, es decir, el sistema radicular de la macrófita plantada se encuentra sumergido en el agua residual a tratar y el caudal de entrada al sistema se mantiene en 360 l/día, correspondiendo un TRH de 3 días. El sistema empieza a operar el día 11 de noviembre del 2015.

Para definir el fin del periodo de arranque se toma en cuenta como indicador a la eficiencia en remoción de DQO soluble del sistema en el tiempo. A medida que el sistema entra en funcionamiento y la macrófita va desarrollando las hojas y el sistema radicular, la eficiencia en remoción de DQO soluble del sistema aumenta en el tiempo.

Se considera que el periodo de arranque del sistema termina cuando llega el momento en que los valores de eficiencia en remoción de DQO soluble se mantienen constante en el tiempo, observándose dicho comportamiento en el Gráfico N° 4 (pág. 30), donde en los 5 últimos puntos de la línea de eficiencia en remoción de DQO soluble son próximos y están entre 35%-55%. Es así que el fin del periodo de arranque se ubica el día 29 de abril del 2016. El periodo de arranque del sistema dura 171 días en total.

A. 1er PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN: PERIODO DE ARRANQUE

1. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

1.1. RESULTADO DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Durante la presente etapa de la investigación se encontró que los valores de DQO total en la entrada variaron desde 64 ppm hasta 272 ppm, tomando el promedio de DQO total un valor de 173.9 ppm con una desviación estándar de 63.5 ppm. También se observó que en la salida del reactor que los valores de DQO total estuvieron comprendidos entre 54 ppm y 152 ppm, siendo el promedio de todos los valores 104.6 ppm con una desviación estándar de 33.0 ppm. Además se observó que la eficiencia promedio en remoción de DQO total fue de 39.17 %.

Por otro lado, en términos de DQO soluble se tuvo que en la entrada del sistema FMF el máximo valor fue de 220 ppm y el mínimo valor fue de 44 ppm, el valor promedio calculado del rango de valores fue de 117.8 ppm siendo la desviación estándar 55.6 ppm. Además se tiene que en el efluente los valores de DQO soluble variaron entre 23 ppm y 120 ppm, siendo el promedio 69.4 ppm y su desviación estándar de 28.6 ppm; cabe resaltar que la eficiencia en remoción promedio del sistema en términos de DQO soluble fue de 44.63 %.

DQO TOTAL (ppm)					
ENTRADA	VALOR MAX	272.0	173.9	63.5	39.17
	VALOR MIN	64.0			
SALIDA	VALOR MAX	152.0	104.6	33.0	
	VALOR MIN	54.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFI. PROM

Tabla N° 2: Estadística de la DQO total en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

DQO SOLUBLE (ppm)					
ENTRADA	VALOR MAX	220.0	117.8	55.6	44.63
	VALOR MIN	44.0			
SALIDA	VALOR MAX	120.0	69.4	28.6	
	VALOR MIN	23.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N° 3: Estadística de la DQO soluble en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

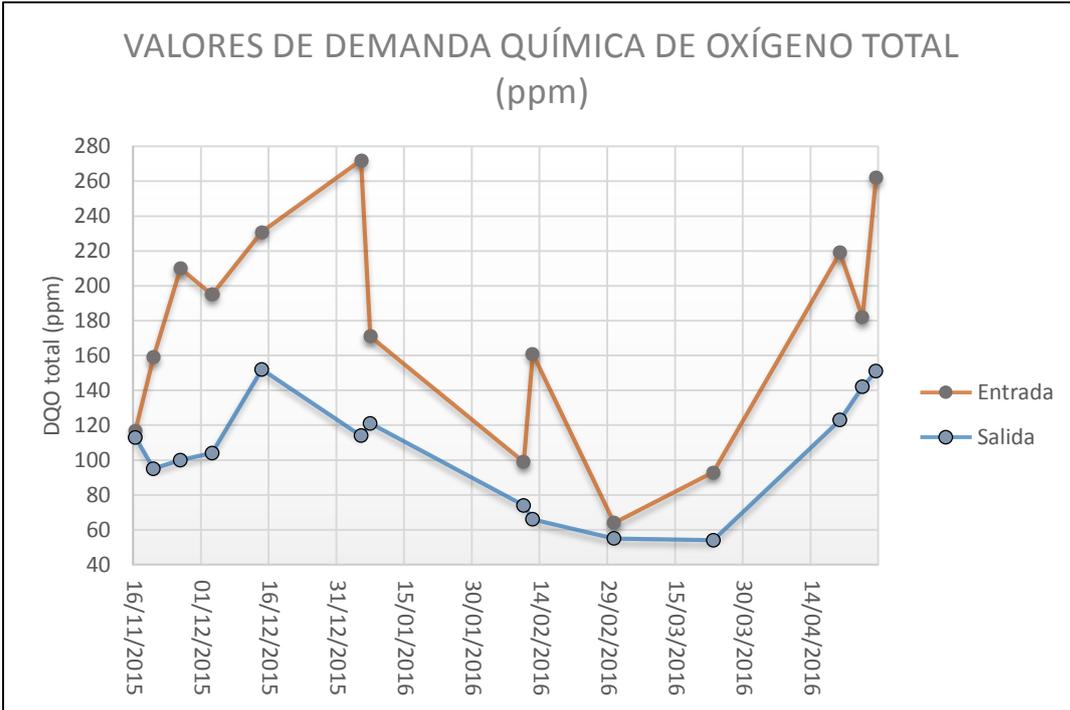


Gráfico N° 1: Registro de la DQO total en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

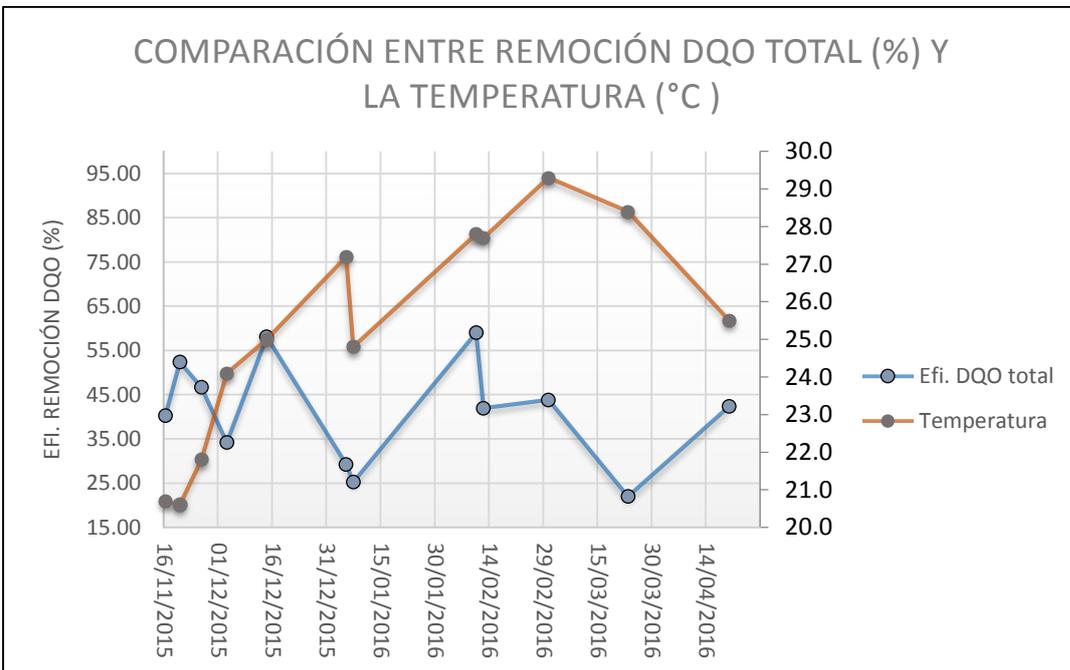


Gráfico N° 2: Comparación entre la eficiencia en remoción de DQO total y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

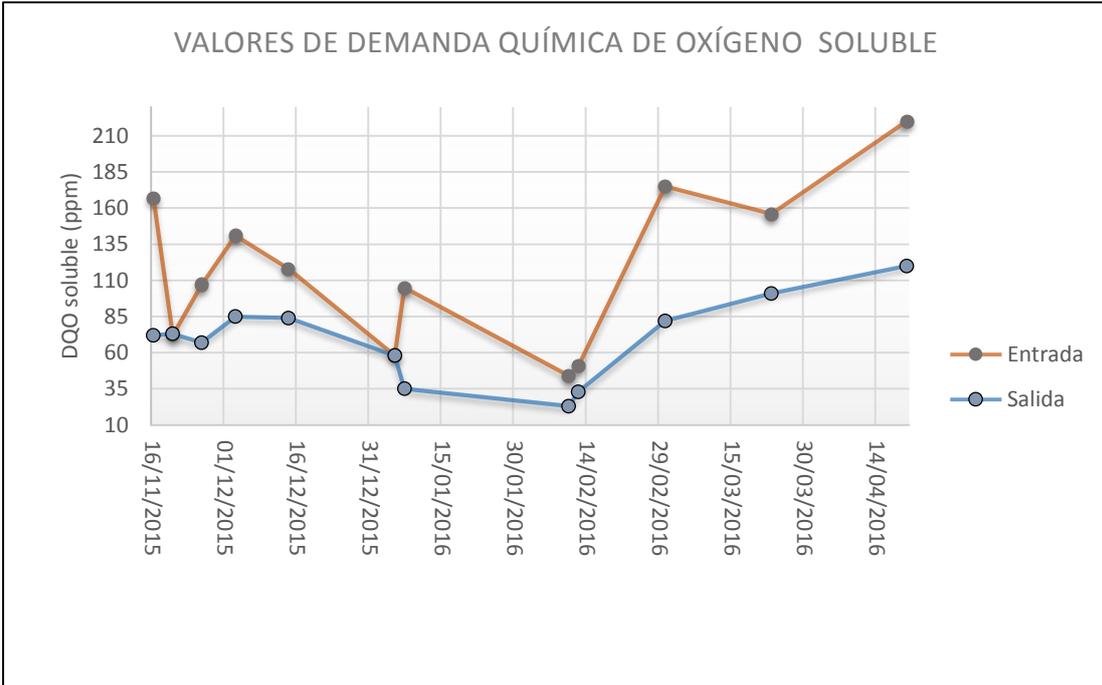


Gráfico N° 3: Registro de DQO soluble en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

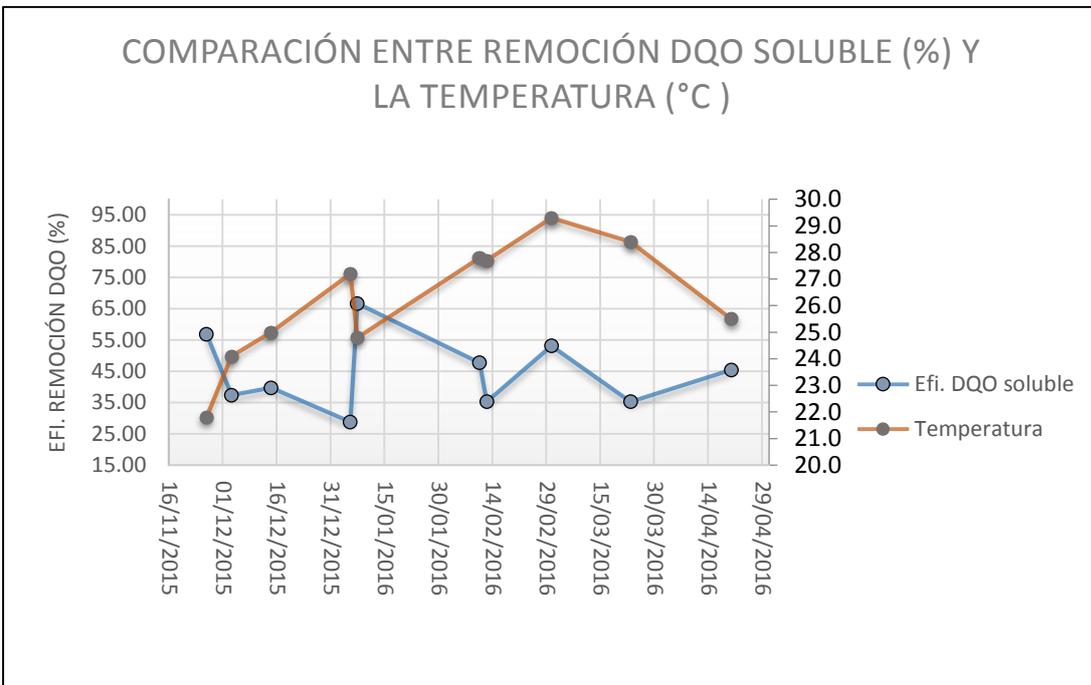


Gráfico N° 4: Comparación entre la eficiencia en remoción de DQO soluble y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

1.2. ANÁLISIS DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

El comportamiento de los valores de DQO total tanto para el afluente como el efluente del sistema se puede observar en el Gráfico N° 1. Se muestra que los valores de DQO total en la entrada tienen una mayor variación de valores que en el efluente del sistema. Esto también se ve reflejado en los valores estándar de cada punto de muestreo, pues la desviación estándar del efluente es menor que en el afluente.

Cabe mencionar que los valores de DQO total en la entrada estaban influenciados por la frecuencia de bombeo ya que existe un almacenamiento y consecuente sedimentación del afluente.

Dado que la temperatura influye en la eficiencia en remoción de DQO total del sistema se elaboró la Gráfica N° 2, en donde la temperatura de tiene un comportamiento ascendente debido a los meses de verano del contexto, pero no se observa una línea de tendencia ascendente o descendente en la gráfica de eficiencia en remoción de DQO total.

Por otro lado, se observa en la Gráfica N° 3 que los valores de DQO soluble en la entrada y la salida del sistema mantiene un mismo comportamiento, lo que indica que sí hay una incidencia directa de la concentración de DQO soluble de la entrada sobre la salida del sistema.

Por último, en la Gráfica N° 4 se observa que los cinco últimos valores de eficiencia en remoción de DQO soluble son valores muy cercanos entre sí, esto significa que el sistema FMF ha llegado al término de su periodo de arranque.

2. TEMPERATURA AMBIENTAL

2.1. RESULTADO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL

Durante la parte estadística del estudio de este parámetro se observó que los valores de temperatura dentro del humedal FMF variaron entre 19.0 °C y 31.0 °C, además la temperatura promedio registrada fue de 25.11 °C siendo la desviación estándar de todos los valores registrados 3.66 °C.

Por otro lado, la temperatura externa máxima registrada fue 30.0°C, mientras que la mínima fue de 17.0 °C, también se observa que el promedio de todos los valores registrados fue de 23.92 °C, mientras que la desviación estándar de los mismos valores fue de 3.78 °C.

Es importante mencionar que la diferencia entre la temperatura interna y la externa fue en promedio 1.47 °C. Este valor nos refleja que la temperatura interna fue mayor a la externa la mayoría del tiempo, lo que incide directamente en el comportamiento del sistema ya que aumentan las velocidades de reacción y actividad biológica favoreciendo a la eficiencia del humedal en remoción de diferentes parámetros.

TEMPERATURA AMBIENTAL(°C)					
INTERNO	VALOR MAX	31.00	25.11	3.66	1.47
	VALOR MIN	19.00			
EXTERNO	VALOR MAX	30.00	23.92	3.78	
	VALOR MIN	17.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N° 4: Estadística del registro de la temperatura ambiental en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

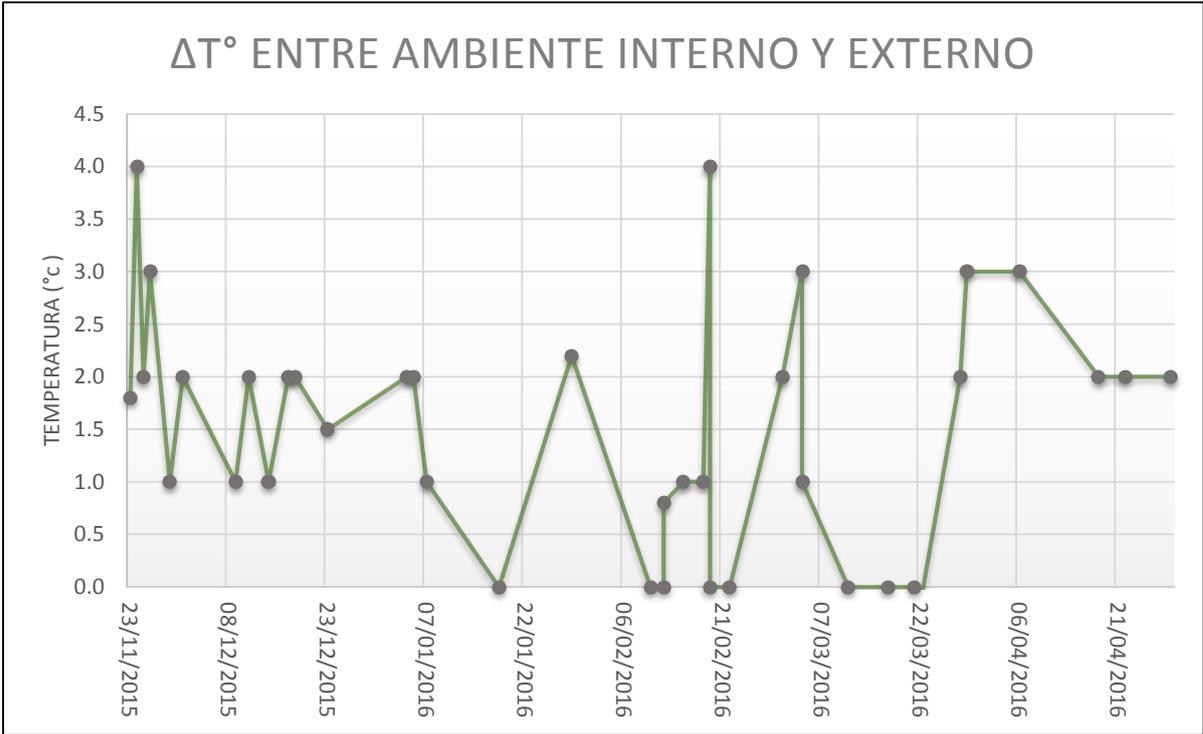


Gráfico N°5: Diferencia de temperatura ambiental interno y externo del sistema FMF durante el arranque. (Fuente propia)

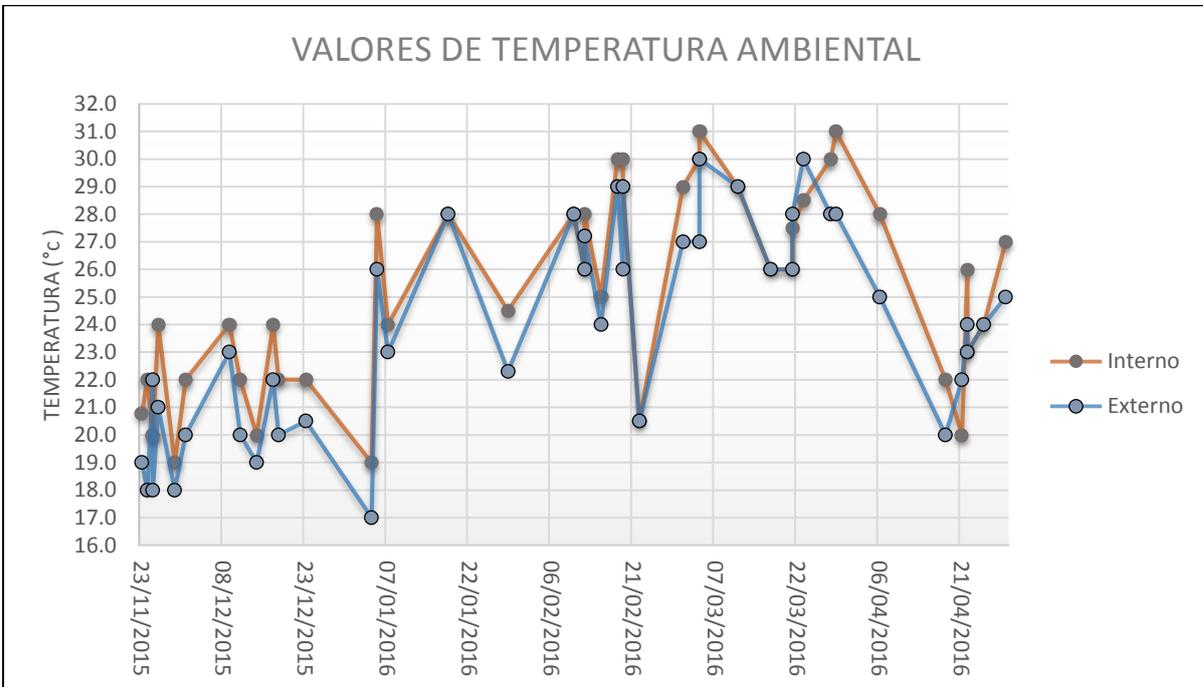


Gráfico N°6: Registro de temperatura ambiental interna y externa durante el periodo de arranque del sistema. (Fuente propia)

2.2. ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL

Es importante mencionar que en el mes de abril los valores se vuelven a comportar de manera más uniforme, lo que indica que en los meses de menor temperatura la diferencia de la temperatura ambiental interna y externa es más estable que en el resto del año.

Con respecto al Gráfico N° 5 se observa que hay un incremento radical de temperatura desde los primeros días de enero hasta fines de marzo que es el momento donde la temperatura vuelve a bajar, dicha descripción que encaja tanto para la temperatura ambiental interna como para la temperatura externa.

Para finalizar, la Gráfica N° 6 nos muestra que la línea roja correspondiente a la temperatura ambiental interna está por encima de la línea azul la mayoría del tiempo, lo que implicaría un efecto de aumento de temperatura del agua residual dentro del sistema FMF. Esto tendría consecuencias en los diferentes procesos de remoción que tiene el humedal sobre los parámetros estudiados.

3. TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

3.1. RESULTADO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

Durante el periodo de arranque el sistema de macrófitas emergentes convertidas a flotantes artificialmente pasó por las estaciones de primavera, verano y otoño, registrándose diferentes valores de temperaturas.

Por ejemplo, en el afluente del sistema se observó que la temperatura mínima del agua residual registrada fue de 20.7 °C, mientras que la máxima registrada fue de 30.6. Es así que la media de todos los valores en este rango fue 25.4 °C teniendo una desviación estándar de 3.1 °C.

Por otro lado, en el efluente del sistema se registró un rango de temperaturas entre 20.3 °C y 29.6°, siendo el promedio de 24.7 °C y la desviación estándar de 3.0 °C. Cabe mencionar que la variación promedio de temperatura entre el afluente y el efluente fue de 0.7 °C

A continuación se mostrarán el registro de los valores de temperatura del agua residual, así como el valor de diferencia entre temperaturas por punto de muestreo.

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL(°C)					
ENTRADA	VALOR MAX	30.6	25.4	3.1	0.7
	VALOR MIN	20.7			
SALIDA	VALOR MAX	29.6	24.7	3.0	
	VALOR MIN	20.3			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N° 5: Estadística de la temperatura en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

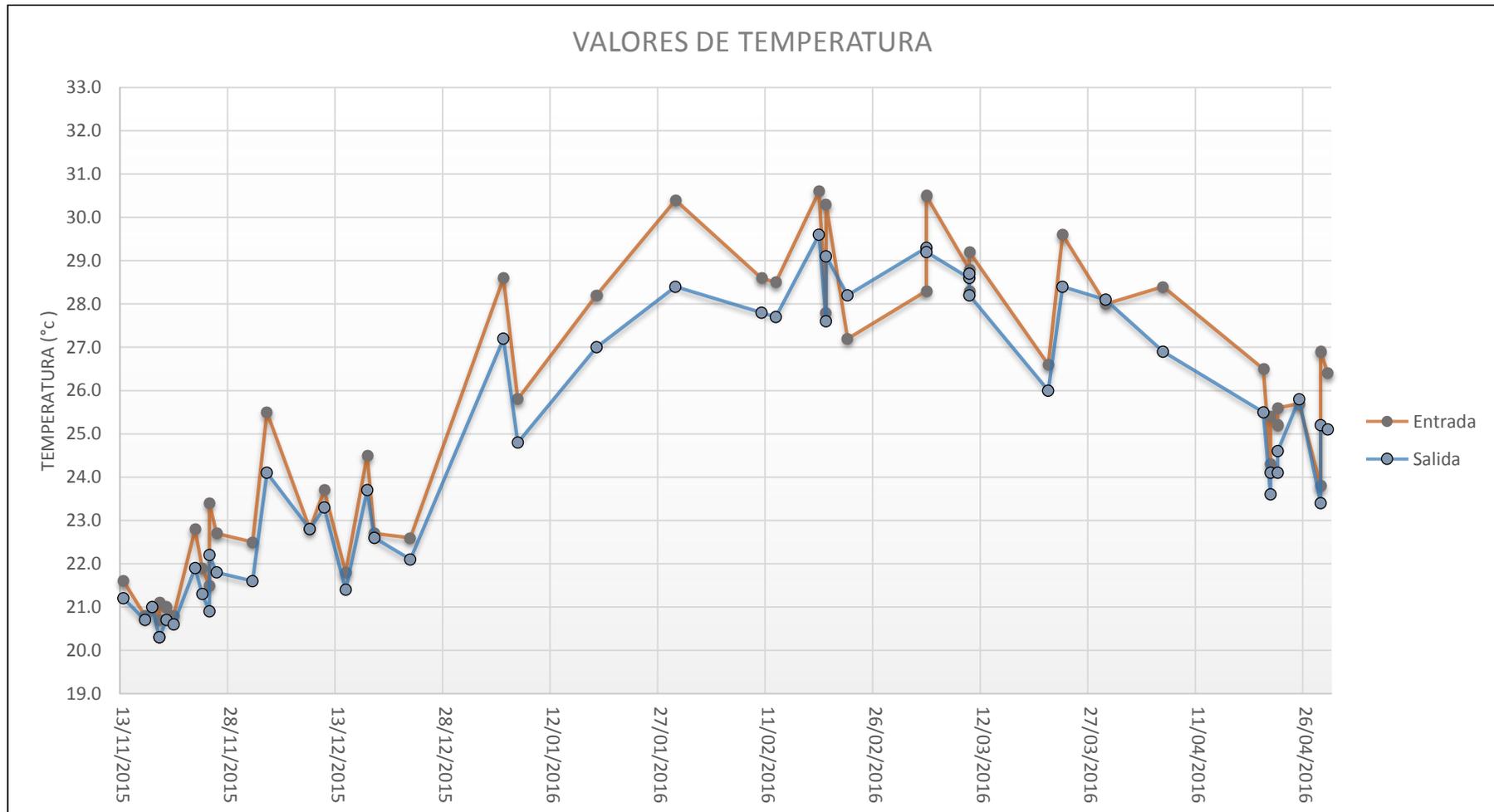


Gráfico N° 7: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

3.2. ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

Durante los meses de noviembre a diciembre la temperatura se mantuvo constante, mencionando que no hubo muchos días soleados; sin embargo, desde enero hasta mediados de abril se registró un aumento de temperatura como se puede ver desde el 01/05/16 hasta el 20/04/16. (Ver gráfico 7).

Es importante mencionar que durante esta etapa de la investigación el tiempo de retención hidráulico era de 3 días, lo que implicaba que el agua residual que estaba en el tanque de almacenamiento se mantenía reposada por lo menos 1 día, además que el tanque era de color negro, lo que hace que favorezca el aumento de temperatura en el afluente.

Respecto a la diferencia de temperaturas entre el afluente y el efluente, es importante conocer el promedio de dichos valores ya que esto indica el agua residual reduce su temperatura en el valor de 0.7 °C en promedio al salir del humedal artificial estudiado.

El rol significativo que cumple la temperatura en el humedal artificial se observará al comparar la gráfica de registro de temperatura con los registros de los demás parámetros, sobre todo con la DBO₅ y DQO; es decir, hay una relación directa del cambio de temperatura con la eficiencia del humedal artificial así como la actividad microbiana, sin embargo dicha relación se observará con más énfasis en la etapa de investigación propiamente dicha que se mostrará en la parte B del presente capítulo.

4. TURBIEDAD

4.1. RESULTADO DE LA TURBIEDAD

Durante el periodo de arranque del humedal artificial, se obtuvo diferentes valores de turbiedad, tanto en la entrada del humedal (efluente del reactor UASB) como en su salida; cabe mencionar que la presencia de microalgas fue continua a lo largo de toda la investigación.

En la entrada del humedal artificial se obtuvo valores dentro del rango de 19 UNT y 105 UNT, manteniendo una tendencia de crecimiento en el tiempo, dichos valores corresponden al efluente del reactor UASB. Durante este periodo se tiene para el afluente del sistema investigado un promedio en turbiedad de 40.19 UNT y una Desviación Estándar de 15.31 UNT

Por otro lado, en el efluente del sistema estudiado se registró valores entre 7.84 UNT y 41.7 UNT, teniendo un promedio de 21.67 UNT y una desviación estándar de 7.95 UNT. Se puede observar que dicho valores son significativamente mayores a los del afluente del humedal artificial que se investigó.

A continuación, se presentará los registros de turbiedad, promedios, desviaciones estándar, valores máximos y mínimos del periodo de arranque del sistema estudiado

TURBIEDAD (UNT)					
ENTRADA	VALOR MIN	19	40.19	15.31	18.52
	VALOR MAX	70			
SALIDA	VALOR MIN	7.84	21.67	7.95	
	VALOR MAX	41.7			
			PROMEDIO	DESV. EST.	REMOCIÓN. PROM.

Tabla N° 6: Estadística del registro de la turbiedad en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

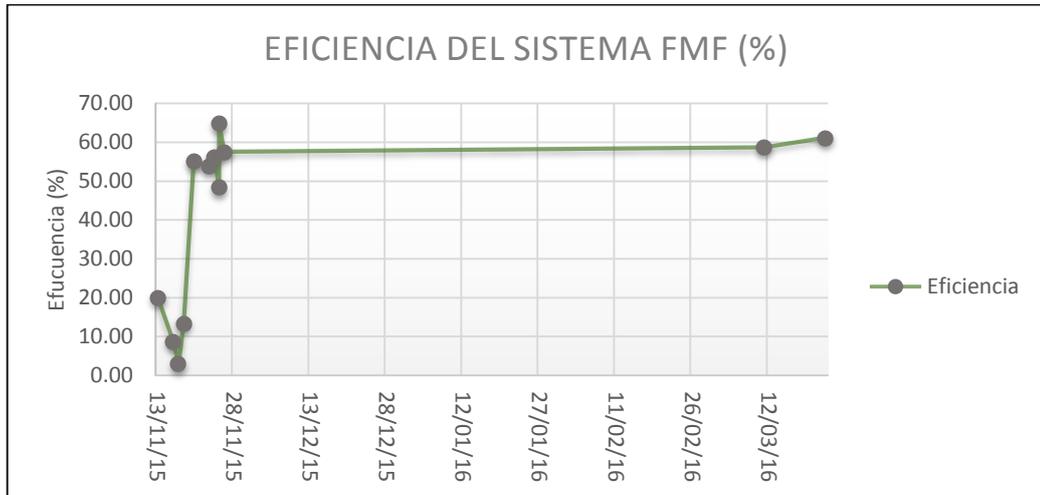


Gráfico N°8: Eficiencia del sistema FMF durante el arranque. (Fuente propia)

4.2. ANÁLISIS DE LA TURBIEDAD

Al inicio del periodo de arranque se sembró la macrófita *Chrysopogon zizanioides* cuyas hojas crecieron lentamente al igual que las raíces de las mismas, esto tuvo efecto en la poca remoción del sistema al inicio del periodo.

Además, la remoción existente mostrada en el Gráfico N° 8 da constancia de una maduración del humedal y de la mayor importancia del crecimiento de la planta en el humedal, ya que al inicio no existe una formación importante de biopelícula porque no hay raíces suficientemente grandes para dar soporte.

En el Gráfico N° 6 se observa una tendencia creciente de la eficiencia, cuyos valores se mantienen constantes en la última etapa del periodo de arranque.

5. EL pH

5.1. RESULTADO DEL pH

Durante la etapa de arranque del sistema se observó que los valores de pH fueron incrementando tanto en afluente como en el efluente, aunque este último lo hizo con mayor celeridad en los primeros meses hasta que se estabilizó al final de este periodo.

En el afluente del humedal artificial encontramos valores de pH en el rango de 6.03 hasta 7.46, siendo el valor de pH en promedio de 6.98 con una desviación estándar de 0.26.

Cabe mencionar que los valores más bajos de pH en el afluente se observaron durante los primeros meses (primavera) de la presente etapa de investigación.

Por otro lado, en la salida del humedal artificial se observó como valor máximo de pH 7.95, mientras que el valor mínimo fue de 7.05 siendo el promedio de todos los valores de pH 7.48 con una desviación estándar de 0.29.

Dentro de este periodo se observó que la concentración de microalgas fue creciendo en el tiempo, tornando a verde el color del efluente del humedal.

El pH					
ENTRADA	VALOR MAX	7.46	6.98	0.26	0.50
	VALOR MIN	6.03			
SALIDA	VALOR MAX	7.95	7.48	0.29	
	VALOR MIN	7.05			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ pH PROM

Tabla N°7: Estadística del pH en el sistema durante el periodo de arranque.

(Fuente propia)

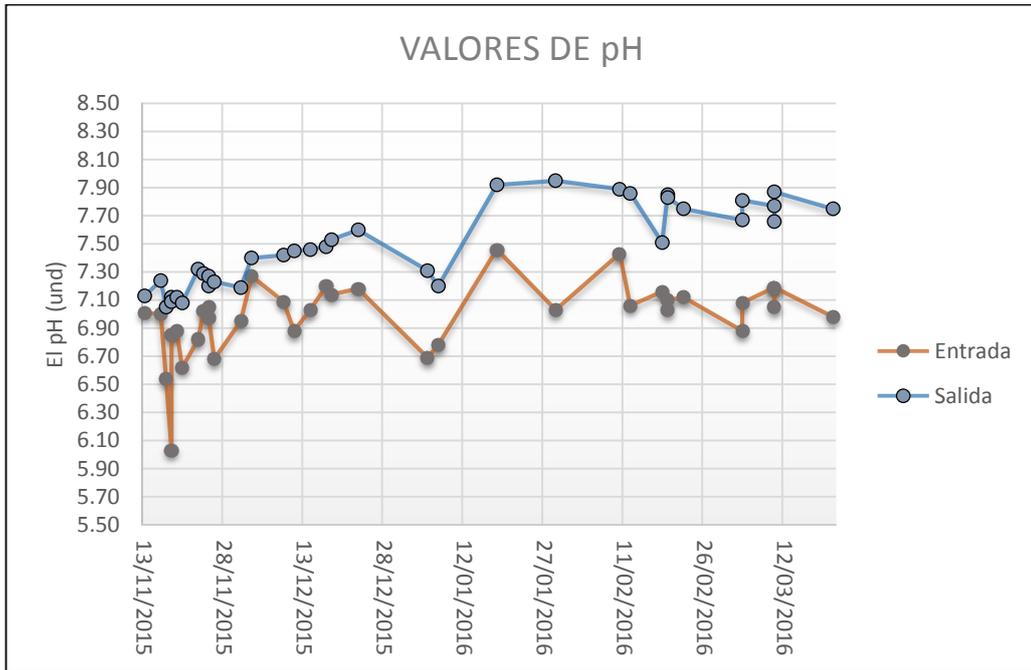


Gráfico N° 9: Registro del pH en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

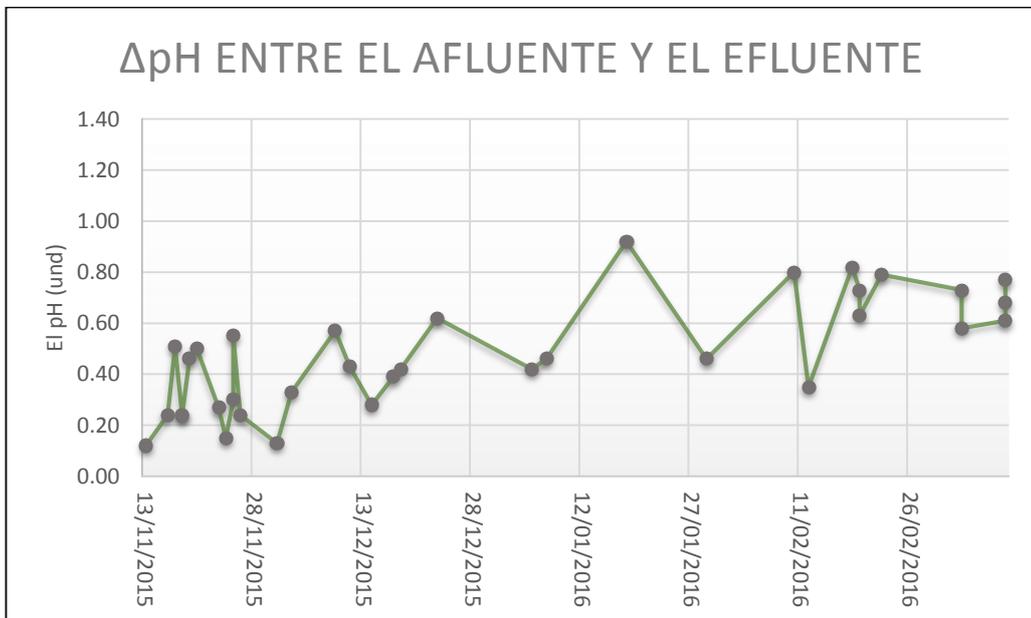


Gráfico N° 10: Diferencia de pH entre el afluente y el efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

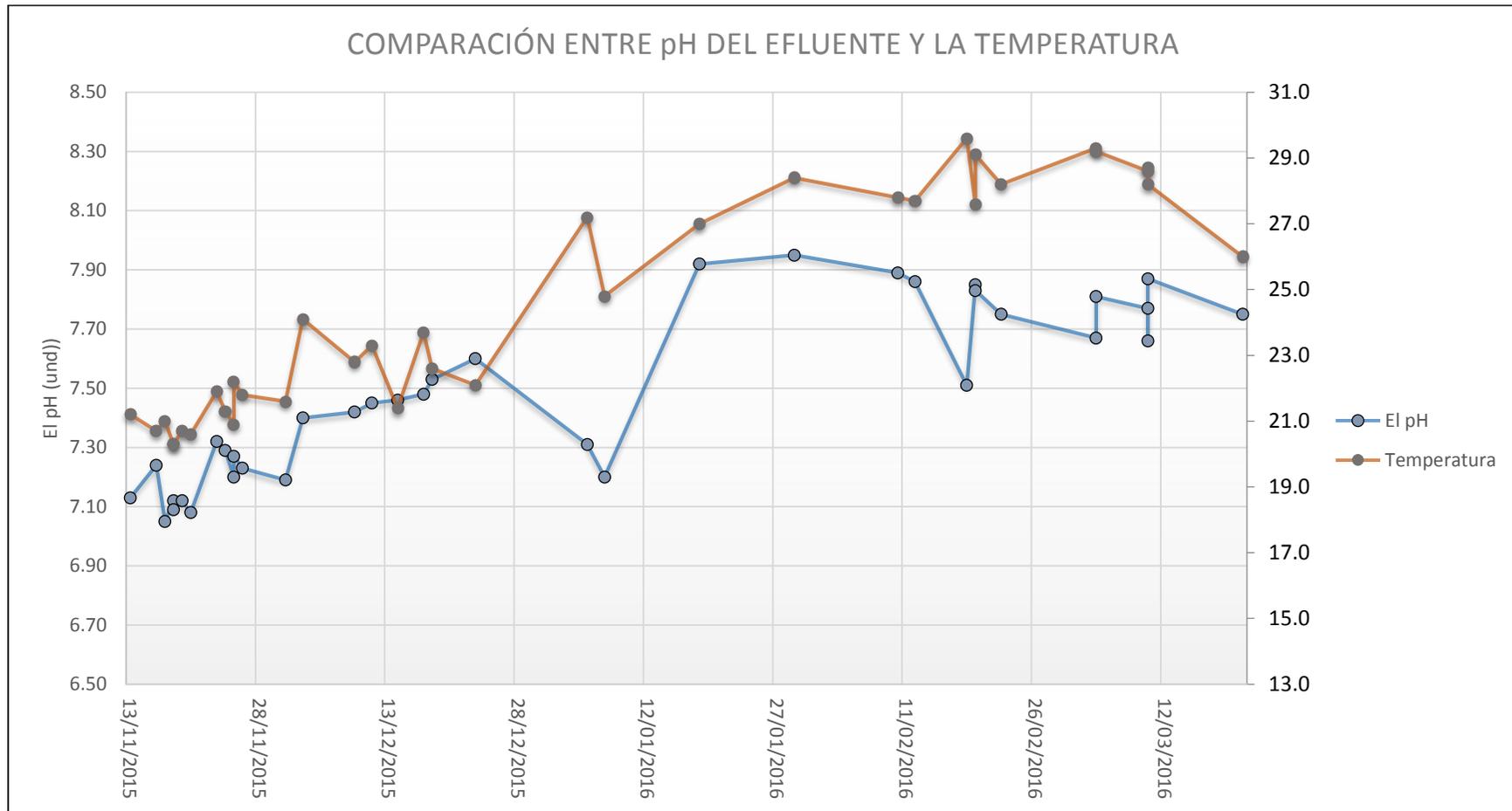


Gráfico N°11: Comparación entre el pH y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

5.2. ANÁLISIS DEL pH

Durante toda la investigación dentro del periodo de arranque siempre se notó un crecimiento visual en la concentración de microalgas en el humedal artificial pues existían ciertas áreas de película de agua residual expuestas a la luz solar, pero que disminuían conforme las hojas de la macrófita *Chrysopogon zizanioides* iban creciendo.

En el gráfico N°9 se puede observar que los valores de pH aumentó radicalmente desde la fecha 05/01/16, momento donde también se observa un aumento notable en la temperatura del agua residual en la salida del humedal artificial y que va de la mano con la temperatura ambiental. La temperatura y el pH siguen la misma línea de tendencia de los valores registrados para cada parámetro,

Por otro lado, en el gráfico N°10 se denota una mayor proximidad de valores de pH entre el efluente y el afluente, proximidad que se va perdiendo en el tiempo volviéndose el pH del efluente más básico.

Además, la diferencia de pH mencionada en el párrafo anterior se muestra en el gráfico N°11, en donde existen una evidente tendencia de crecimiento de dicha diferencia. En el gráfico también se observa un crecimiento notable de pendiente en la línea de tendencia en los primeros días de enero del 2016.

6. CONDUCTIVIDAD Y SDT

6.1. RESULTADO DE LA CONDUCTIVIDAD Y SDT

Respecto a la conductividad se observó que los valores en el afluente osciló entre 989.3 $\mu\text{S/cm}$ y 1621.0 $\mu\text{S/cm}$, teniéndose como promedio del rango de valores a 1266.0 $\mu\text{S/cm}$ con una desviación estándar de 155.9 $\mu\text{S/cm}$.

También los valores de conductividad en el efluente del humedal artificial estuvieron en el rango de 971.0 $\mu\text{S/cm}$ a 1402.0 $\mu\text{S/cm}$, cuyo promedio de todos los valores fue 1201.1 $\mu\text{S/cm}$ con una desviación estándar de 112.4. Además, se tuvo como promedio de los valores de eficiencia en remoción de la conductividad entre la afluente y el efluente al valor de 5.2%.

Por otro lado, en los sólidos disueltos totales se tuvo como valor máximo en el afluente a 1465.0 ppm, como mínimo valor a 879.0 ppm, siendo el promedio de todos los valores 1144.4 ppm y la desviación estándar de dicho promedio 142.8 ppm. En el efluente del humedal los resultados de SDT variaron entre 884.1 ppm y 1284.0 ppm, siendo el promedio 1080.3 ppm y la desviación estándar 98.1 ppm. Además, el promedio de las eficiencias entre el afluente y el efluente del humedal fue de 6%.

CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S/m-1}$) Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (ppm)						
CONDUCTIVIDAD	ENTRADA	VALOR MAX	1621.0	1266.0	155.9	5.2
		VALOR MIN	989.3			
	SALIDA	VALOR MAX	1402.0	1201.1	112.5	
		VALOR MIN	971.0			
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	ENTRADA	VALOR MAX	1465.0	1144.4	142.8	6.0
		VALOR MIN	879.0			
	SALIDA	VALOR MAX	1284.0	1080.3	98.1	
		VALOR MIN	884.1			
				PROM.	σ	Δ PROM

Tabla N°8: Estadística de la conductividad y sdt en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

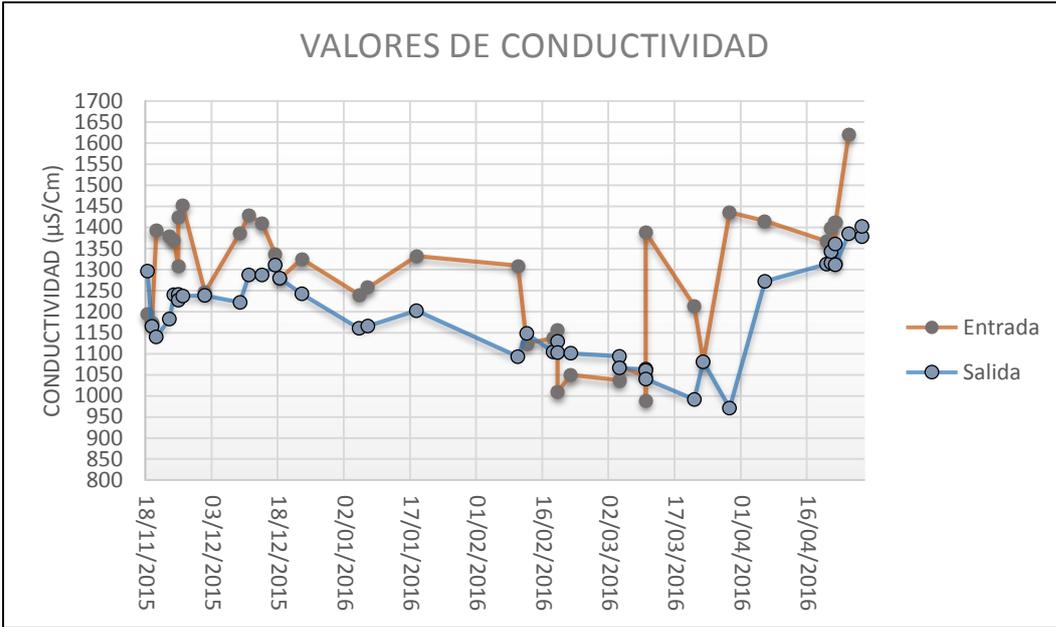


Gráfico N° 12: Registro de la conductividad en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

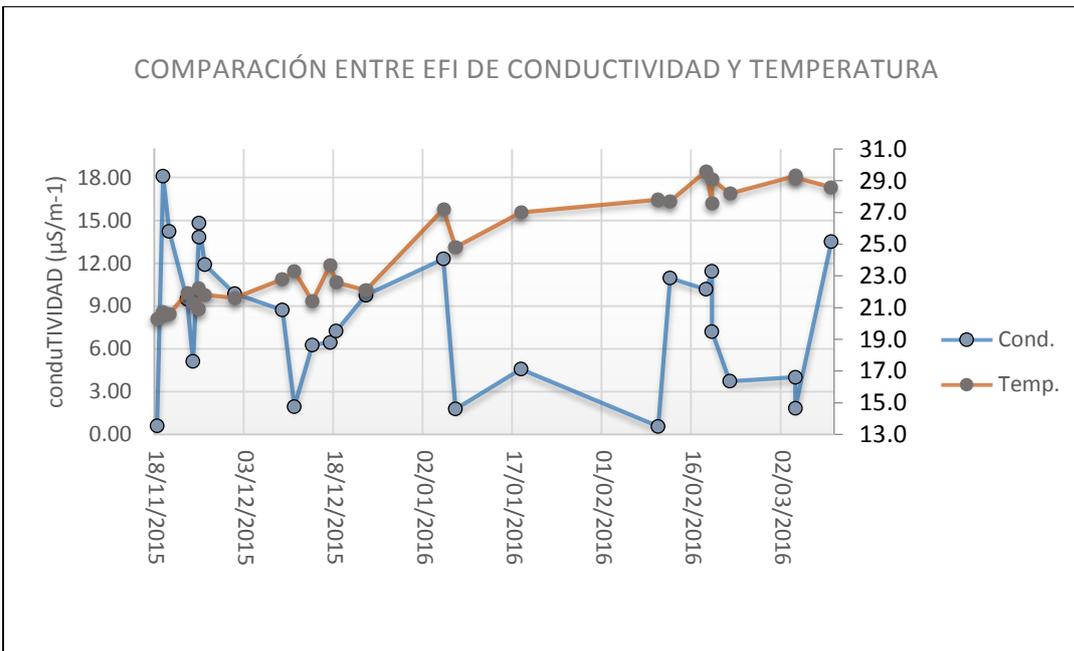


Gráfico N° 13: Comparación entre la eficiencia en remoción de conductividad y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

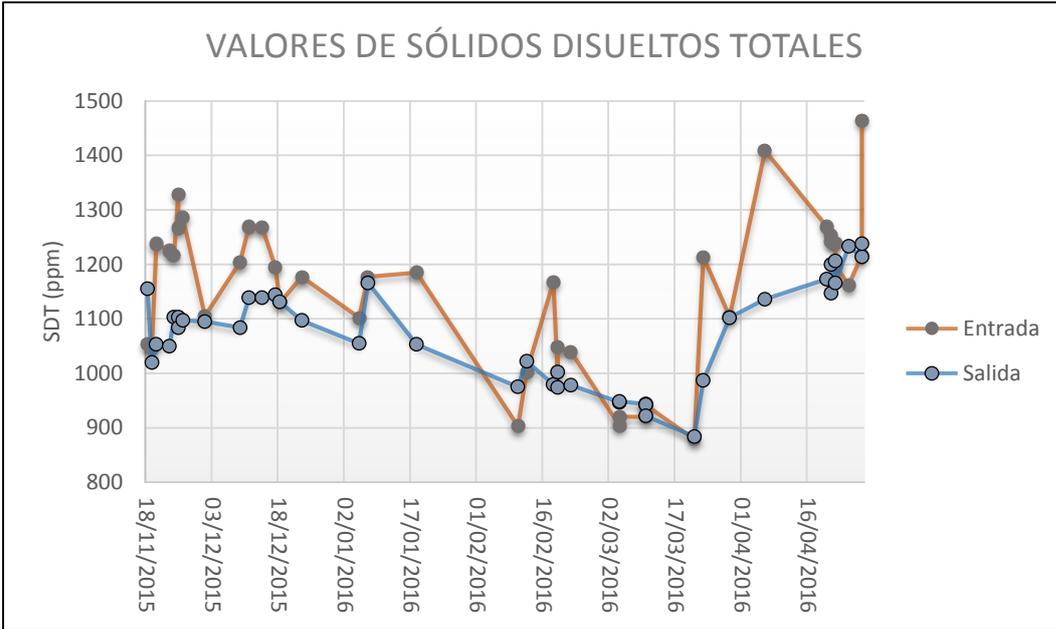


Gráfico N° 14: Registro de los SDT en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

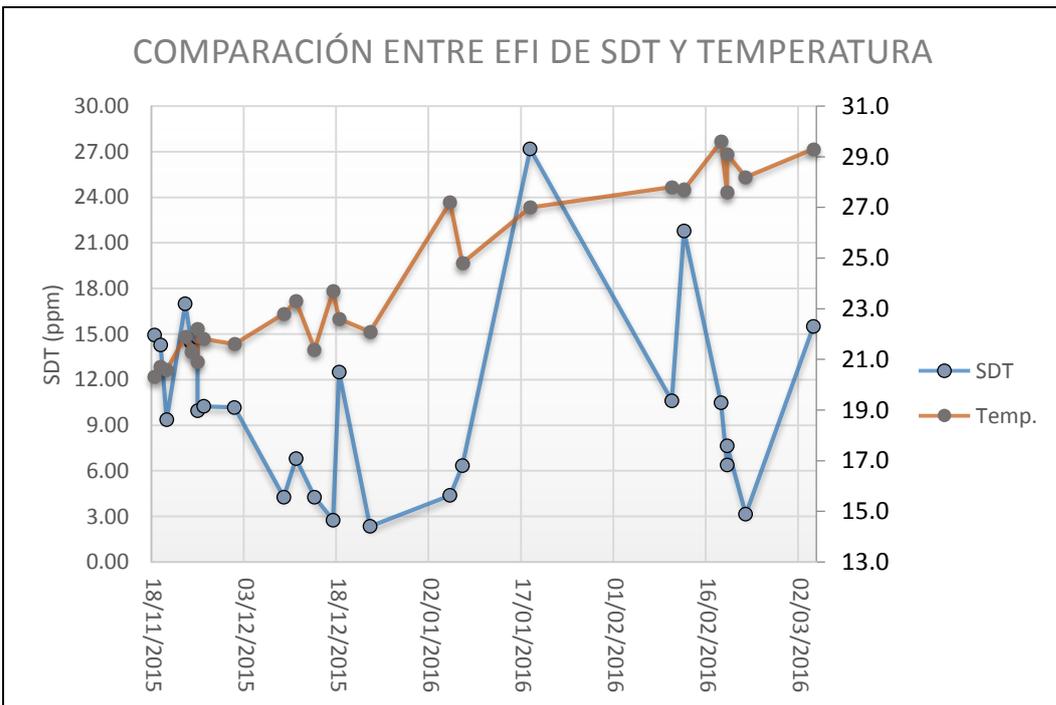


Gráfico N° 15: Comparación entre eficiencia en remoción de sdt y la temperatura en el efluente del sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

6.2. ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD Y SDT

La mayor parte del tiempo los valores de conductividad en la entrada están por encima que los de la salida según el Gráfico N°12, un dato que los corrobora es el promedio de la diferencia entre el afluente y el efluente que es el valor de 93.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Además se observa que la conductividad durante la estación de verano disminuyó notablemente tanto en el efluente como en el afluente, siendo es último hasta menor en varios muestreos. Esto indica que los valores de conductividad en la salida del humedal FMF no se afectan tanto como en la salida del reactor UASB (afluente).

También en cuanto a la Gráfica N° 13, la eficiencia en el humedal artificial en términos de conductividad disminuye conforme la temperatura aumenta y viceversa.

Por otro lado, los sólidos disueltos totales (sdt) en el afluente, según el Gráfico N° 14 tienen valores superiores a los del efluente la mayoría del tiempo, exceptuando los meses de verano en el que existen algunos muestreos donde se invierte el comportamiento.

También se observa en el Gráfico N°15 que la eficiencia del humedal en cuanto a sólidos disueltos totales disminuye en la estación de mayor temperatura (verano) y por el contrario aumento en los meses de menor temperatura en el periodo de arranque. Se entiende que las eficiencias en este parámetro siguen una tendencia inversa a la temperatura.

7. SÓLIDOS TOTALES (ST)

7.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS TOTALES

Según los valores de la tabla N°9 se observa que el valor máximo en sólidos totales en la entrada del humedal fue de 880 ppm; mientras que el valor mínimo monitoreado fue de 498 ppm.

Para el promedio de todos los valores en el rango mostrado se tuvo como valor a 649.4 ppm, siendo la desviación estándar del mismo rango el valor de 150.3 ppm.

Cabe mencionar que durante la etapa de arranque la frecuencia de bombeo de agua residual era de cada dos días, lo que podría influir en los valores hallados en el presente parámetro ya que existe sedimentación en el tanque de almacenamiento.

Por otro lado, se determinó que en el valor máximo en sólidos totales en la salida del humedal artificial fue de 746 ppm, el valor mínimo caracterizado en laboratorio fue de 480 ppm; además el promedio de dicho rango de valores fue de 583.6 ppm resultando una desviación estándar de 9.53 ppm.

Sumado a lo anteriormente descrito se tiene que la eficiencia en promedio del humedal artificial en términos de remoción de sólidos totales fue de 9.35%.

SOLIDOS TOTALES (ppm)					
ENTRADA	VALOR MAX	880.0	649.4	150.3	9.53
	VALOR MIN	498.0			
SALIDA	VALOR MAX	764.0	583.6	117.7	
	VALOR MIN	480.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N° 9: Estadística de los sólidos totales en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

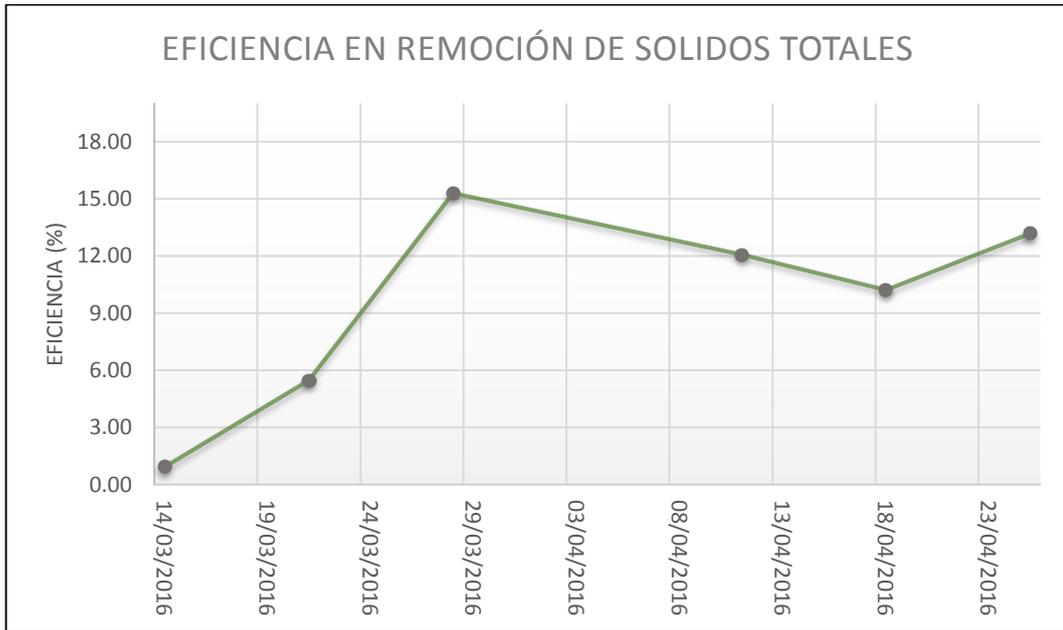


Gráfico N° 16: Eficiencia en remoción de sólidos totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

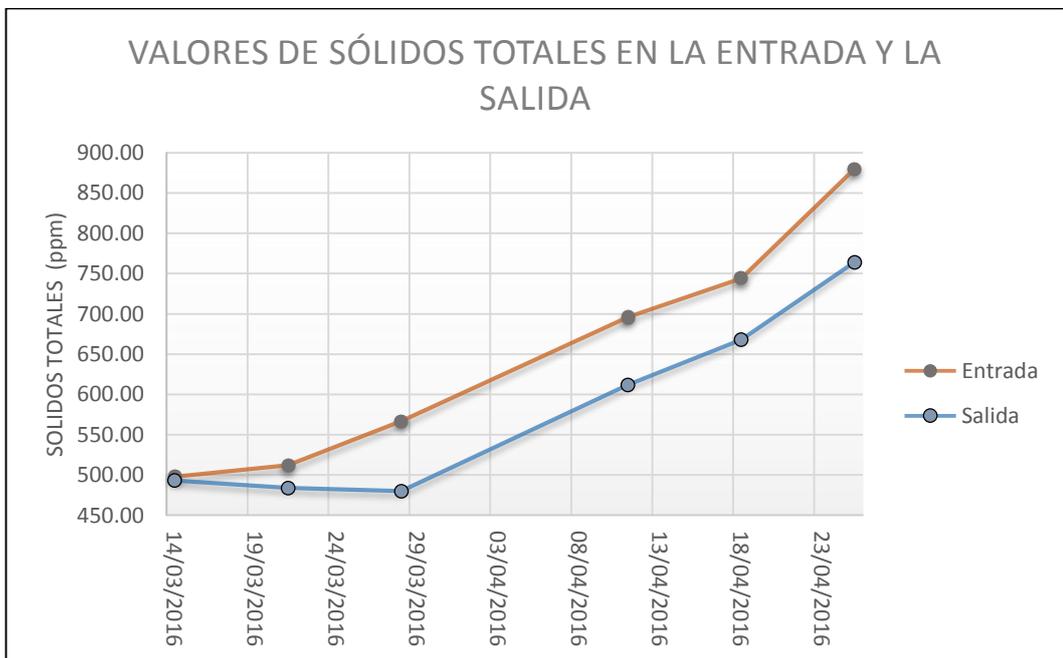


Gráfico N° 17: Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

7.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS TOTALES

Se observa en el Gráfico N° 17 que los sólidos totales en la entrada del sistema fue aumentando progresivamente en el tiempo, además la diferencia de valores entre la entrada y la salida del humedal en los dos primeros monitoreos fue muy pequeña.

Además a partir del 28 de marzo del 2016 (3^{er} monitoreo) se muestra una tendencia muy similar tanto en la gráfica del afluente como del efluente, notándose un comportamiento muy estable en este periodo.

Por otro lado se tiene un registro de eficiencia en remoción de sólidos totales en el Gráfico N° 16 donde se muestra que la eficiencia en el sistema aumentó progresivamente durante el mes de marzo.

También nos muestra la Gráfica N°16 que la eficiencia del sistema en términos de remoción de sólidos totales se vuelve cuasi constante desde los primeros días de abril hasta el final del mismo mes.

El análisis en los párrafos anteriores muestra un comportamiento estable del sistema en remoción de los sólidos totales corroborando así el término de la etapa de arranque del humedal artificial.

8. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

8.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Según la estadística del Tabla N° 10 se encuentra que en la entrada del humedal artificial el valor máximo encontrado fue de 113 ppm en términos de sólidos suspendidos totales, mientras que el valor mínimo fue de 13.3 ppm.

Además se tiene que el promedio del rango de valores dado en el párrafo anterior fue de 70.2 ppm calculando que la desviación estándar del mismo fue de 38.4 ppm.

En cuanto a los valores de salida del sistema FMF se tiene todos los valores de los monitoreos están dentro del rango de 15 ppm y 264 ppm. Además el promedio de dichos valores fue de 70.1 ppm y la desviación estándar tuvo el valor de 15.9 ppm.

Respecto a la eficiencia en remoción de los sólidos suspendidos totales del sistema se calculó que toma el valor promedio de 67.38%, aunque es importante mencionar que existe una alta variabilidad entre los valores monitoreados en este periodo de arranque.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (ppm)					
ENTRADA	VALOR MAX	113.0	70.2	38.4	67.38
	VALOR MIN	13.3			
SALIDA	VALOR MAX	264.0	70.1	15.9	
	VALOR MIN	15.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°10: Estadística de los sólidos suspendidos totales en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

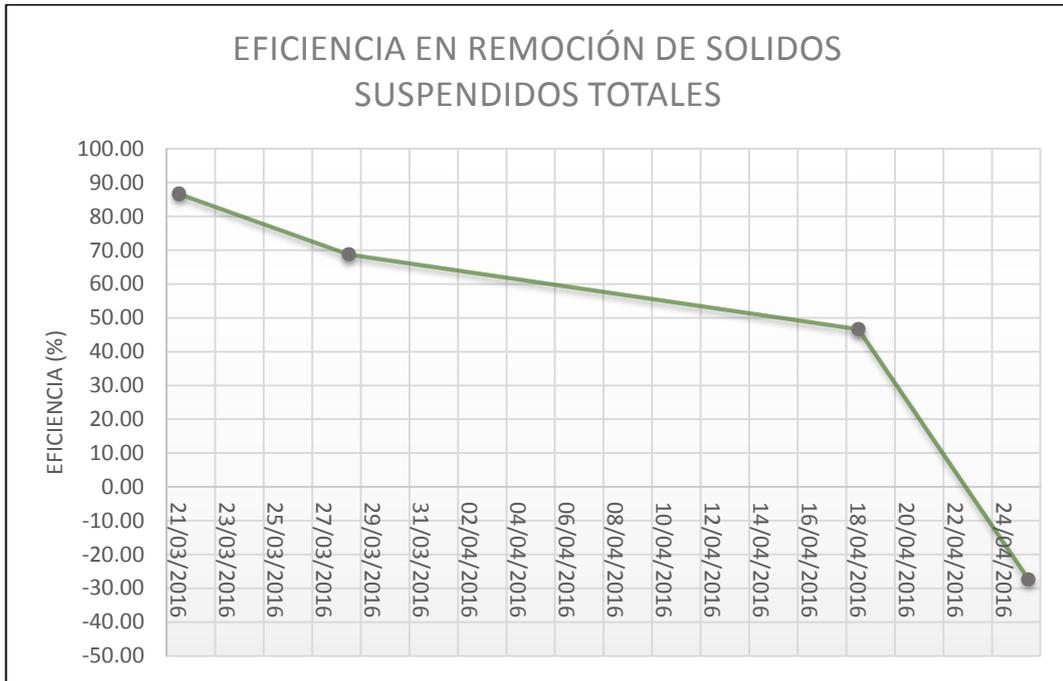


Gráfico N° 18: Eficiencia en remoción de sólidos suspendidos totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

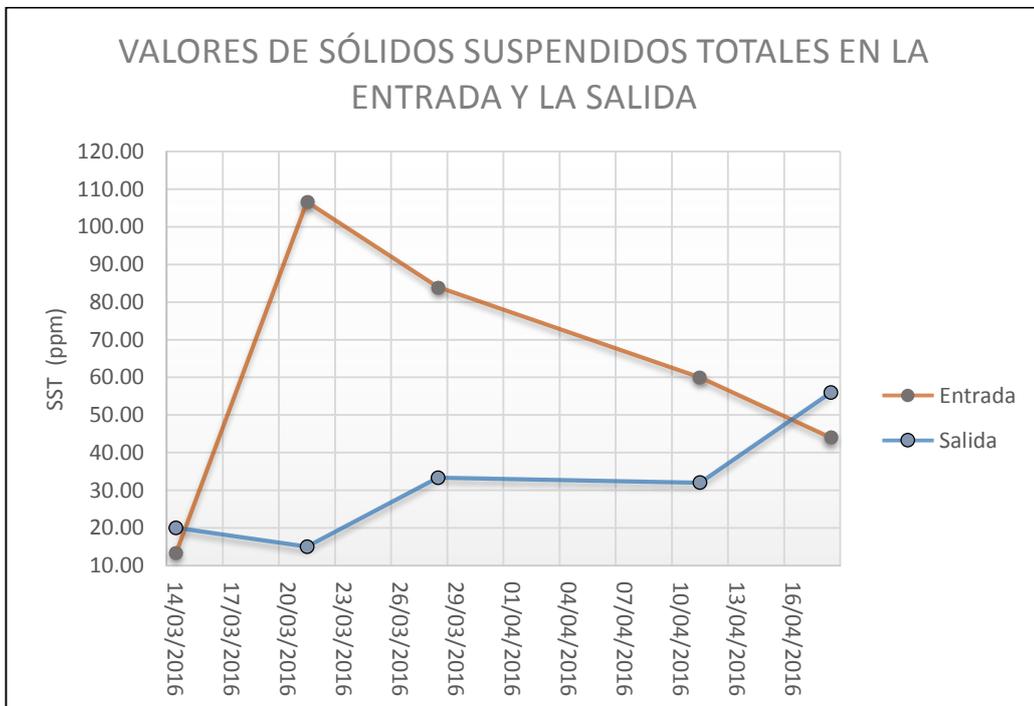


Gráfico N° 19: Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

8.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Lo que nos muestra la Gráfica N° 19 es un comportamiento ascendente de la concentración de sólidos suspendidos totales en la salida del sistema desde los últimos días del mes de marzo del año 2016 a pesar que la concentración del mismo parámetro tiende a disminuir en la entrada del sistema.

Además la brecha entre los valores de le entrada y la salida va disminuyendo en el tiempo, llegando incluso a ser mayor la concentración de sólidos suspendidos totales en la salida que en la entrada del humedal artificial.

El comportamiento anterior tiene sentido desde que se observó cualitativamente en los primeros días de enero un aumento progresivo de la concentración de microalgas en el efluente.

Por otro lado, en la Gráfica N° 18 se observa que la línea de tendencia de la eficiencia en remoción de los sólidos suspendidos totales es descendente a lo largo de todo el periodo de arranque.

Los sólidos suspendidos aumentan debido a la conversión que existe de nutrientes y micronutrientes presentes en el agua residual a microorganismos como bacterias y microalgas, estas últimas son responsables del incrementos de sólidos suspendidos totales.

9. SÓLIDOS VOLÁLITES TOTALES (SVT)

9.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS VOLÁLITES TOTALES

Se puede observar en la Tabla N° 1 que la concentración de sólidos volátiles totales tuvo un valor máximo de 259 ppm en la entrada del sistema y el valor mínimo monitoreado fue de 148 ppm. Además se tiene que el promedio de la concentración de sólidos volátiles en la entrada del sistema fue de 298.5 ppm siendo la desviación estándar 100.6 ppm.

Por otro lado se tiene que el valor máximo en términos de concentración de sólidos volátiles encontrado en la salida del sistema fue de 226 ppm, mientras que en el valor mínimo monitoreado fue de 108 ppm. Además el promedio de dicho rango de valores fue de 175.5 ppm con una desviación estándar de 55.7 ppm. La eficiencia promedio fue de 39%.

Cabe mencionar que durante todo el periodo arranque se observó un aumento progresivo de la concentración de microalgas de manera que el color verdoso del efluente y de la superficie del humedal artificial aumentaba de intensidad conforme pasaban los días.

SOLIDOS VOLÁLITES TOTALES (ppm)					
ENTRADA	VALOR MAX	359.0	298.5	100.6	39.00
	VALOR MIN	148.0			
SALIDA	VALOR MAX	226.0	175.5	55.7	
	VALOR MIN	108.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°11: Estadística de los sólidos volátiles totales en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

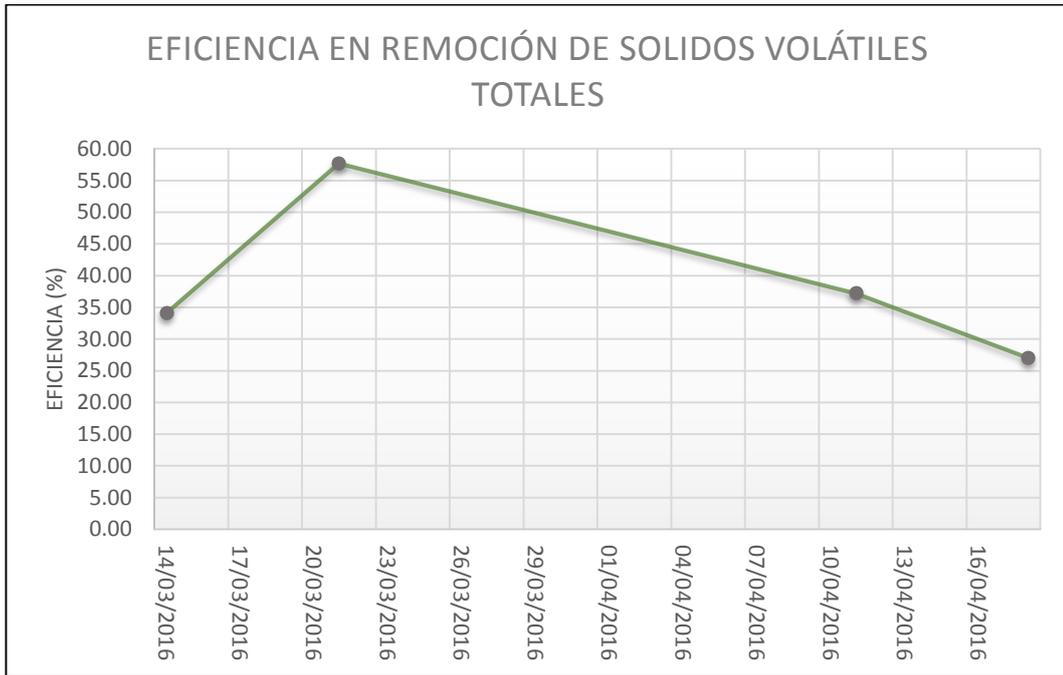


Gráfico N° 20: Eficiencia en remoción de sólidos volátiles totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

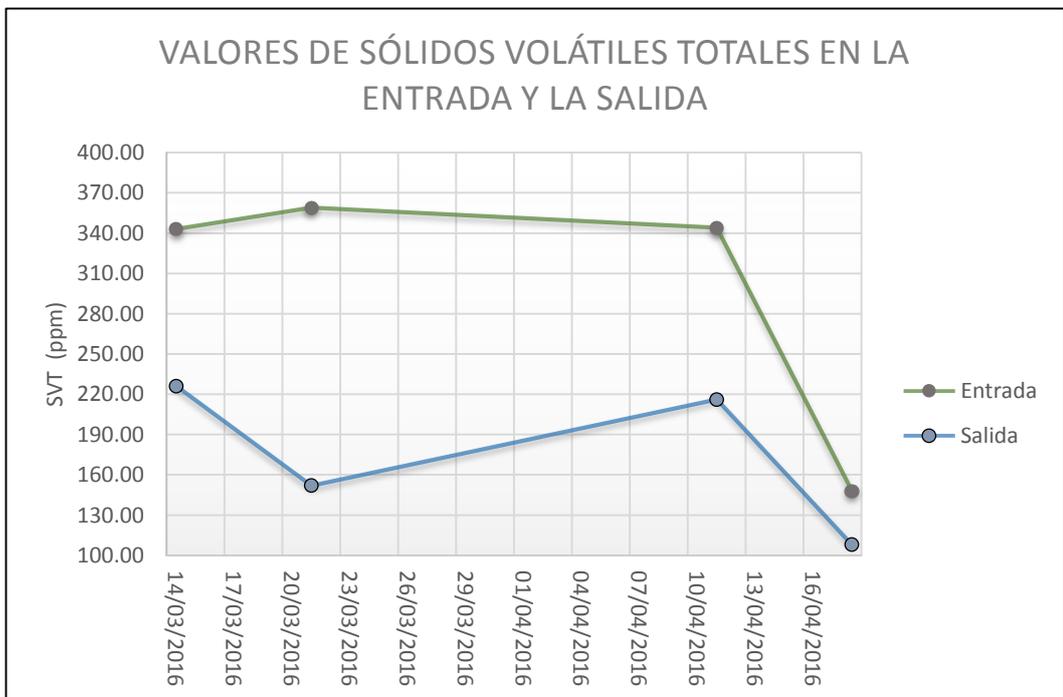


Gráfico N° 21: Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

9.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

En la Gráfica N°20 se puede observar que la eficiencia en remoción de la concentración de sólidos volátiles totales en el sistema desciende conforme pasa el tiempo, sobre todo en los últimos días de marzo en adelante.

Lo escrito en el párrafo anterior tiene mucho que ver que con el crecimiento de microalgas en la salida del humedal artificial ya que estos microorganismos pueden aumentar significativamente el presente parámetro (materia orgánica).

En el Gráfico N°21 se observa que la concentración de sólidos volátiles totales en la entrada y en la salida del sistema comienza a acercarse cada vez más, esto significa que la eficiencia baja y es lo que se refleja en el Gráfico N° 20.

Aunque el sistema de macrófitas emergentes convertidas a flotantes artificialmente comienza a madurar no todos los parámetros siguen el mismo comportamiento de estabilización, pues la concentración de microalgas causa que los sólidos volátiles totales tengan tendencia inversa a los demás parámetros.

Lo descrito en el párrafo anterior es debido básicamente al crecimiento en concentración de microalgas de forma progresiva y que afecta a ciertos parámetros en cuanto a su tendencia a ser removida en el sistema FMF.

10. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

10.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

La Tabla N° 22 nos muestra que durante el monitoreo del afluente del sistema la concentración de sólidos disueltos totales tomó el valor máximo de 836 ppm, mientras que el valor mínimo monitoreado fue de 460 ppm.

También se observa que el valor promedio de la concentración de sólidos disueltos totales en el afluente fue de 648 ppm, siendo la desviación estándar de 156.3 ppm. Por otro lado, el valor máximo registrado en el efluente en cuanto a la concentración de sólidos disueltos totales fue de 708 ppm, mientras que el valor mínimo registrado en concentración del presente parámetro fue de 348 ppm.

Además el promedio de dicho rango de valores fue de 534.7ppm en donde 166.2 ppm fue la desviación estándar. La eficiencia del sistema en remoción de la concentración de sólidos disueltos totales fue de 17.09 % en promedio.

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (ppm)					
ENTRADA	VALOR MAX	836.0	648.0	156.3	17.09
	VALOR MIN	460.0			
SALIDA	VALOR MAX	708.0	534.7	166.2	
	VALOR MIN	348.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°12: Estadística de los sólidos disueltos totales en el sistema durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

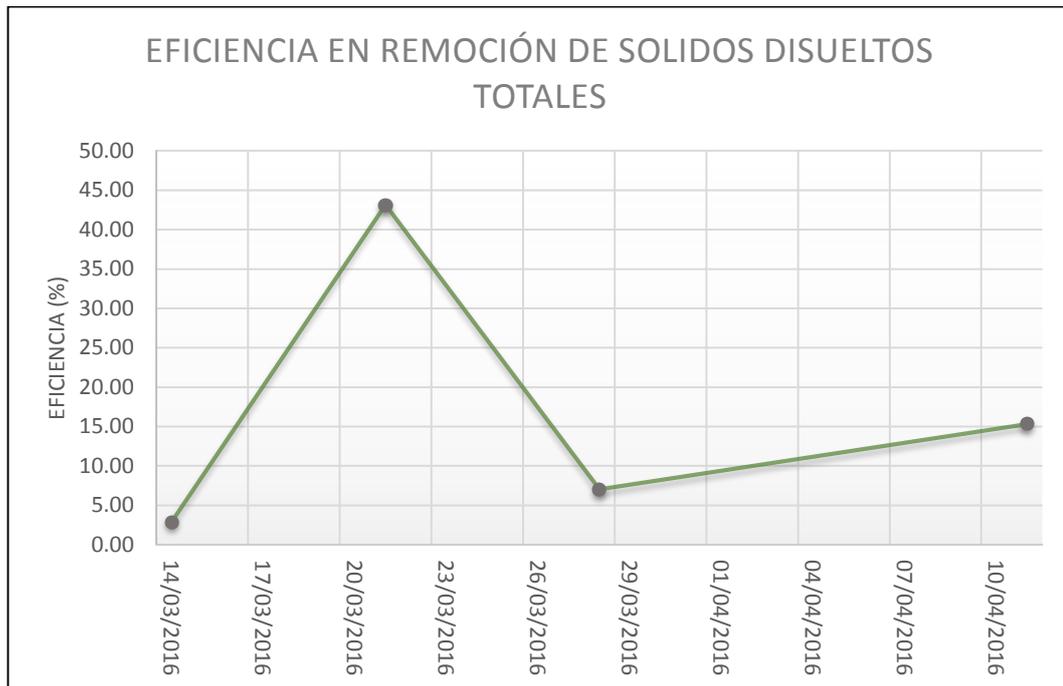


Gráfico N° 22: Eficiencia en remoción de sólidos disueltos totales en el humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

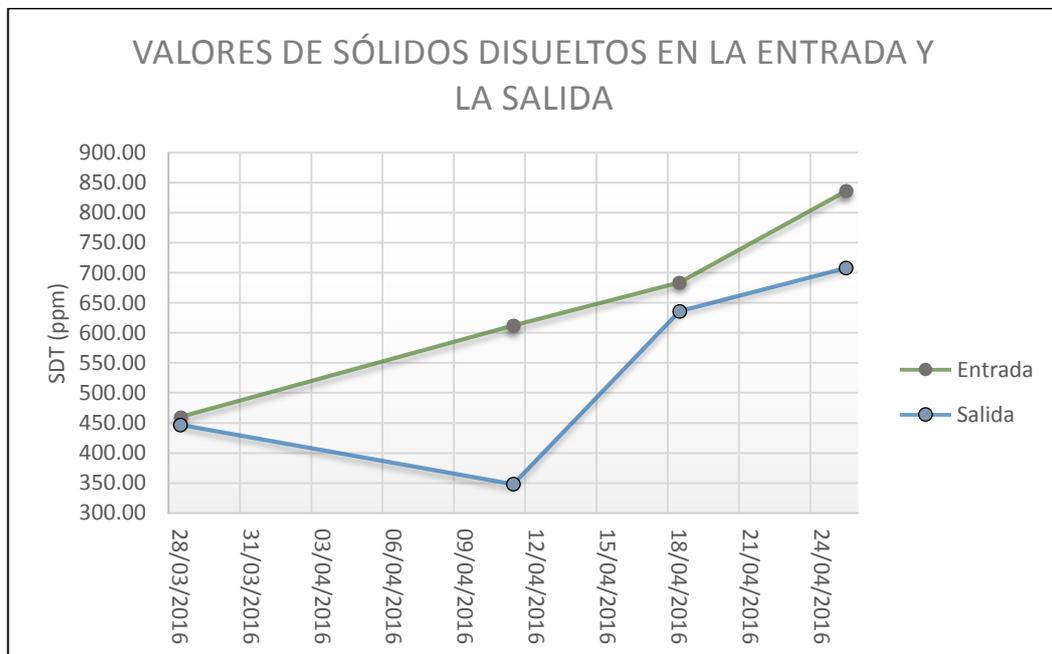


Gráfico N° 23: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

10.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

En el Gráfico N° 22 se aprecia que la línea de tendencia de la eficiencia en remoción de sólidos disueltos totales no es clara ya que los puntos en la gráfica tienen valores muy variables.

Sin embargo, en ningún caso la concentración de sólidos disueltos en la salida del sistema de tratamiento es mayor que en la entrada, lo que significa que el mecanismo de tratamiento en cuanto a este parámetro se trata sí funciona.

También se tiene la Gráfica N° 23 donde se puede apreciar que hay un aumento casi lineal de la concentración de sólidos disueltos totales en el afluente del sistema, cosa que no ocurre con los valores de la salida ya que este último no mantiene esa regularidad en la gráfica, aunque los valores en el efluente siempre son menores que en el afluente.

Con respecto al presente parámetro, no se puede extraer una conclusión concreta respecto a la tendencia de la eficiencia en remoción de la concentración de los sólidos disueltos totales durante el periodo de arranque debido a que la línea de tendencia de la Gráfica N° 22 de la eficiencia del sistema no tiene un crecimiento constante en el tiempo.

B. 2^{do}, 3^{er} y 4^{to} PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN

1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

1.1. RESULTADO DE LA DBO₅

La Tabla N° 13 nos muestra los valores estadísticos a TRH de 5 días, donde en el afluente se registraron valores entre 73.43 ppm y 126.08 ppm, el valor promedio en el afluente fue de 92.68 ppm y la desviación estándar tuvo el valor de 20.17 ppm.

Por su parte el efluente registró valores entre 26.24 ppm y 48.50 ppm, donde el promedio fue 38.36 ppm y la desviación estándar fue 7.93 ppm. Además cabe resaltar que la eficiencia promedio durante el periodo de 5 días de TRH fue de 57.50 %.

Pasándonos a la Tabla N° 14 que nos brinda la estadística a 3 días de TRH, el afluente tomó el máximo valor de 102.86 ppm y un mínimo de 66.86 ppm, siendo el promedio calculado 82.72 ppm y la desviación estándar de 12.22 ppm.

El efluente registró valores entre 25.55 ppm y 65.75 ppm, donde el promedio hallado fue de 43.78 ppm y una desviación estándar de 15.08 ppm. Durante esta etapa de investigación el humedal artificial registró una eficiencia promedio de 45.74 % en remoción de DBO₅.

Finalmente la Tabla N° 15 nos muestra la estadística a TRH de 1 día, donde el afluente registró un valor máximo de 78.47 ppm y un mínimo de 229.00 ppm, calculando un promedio de 110.21 ppm y una desviación estándar de 48.98 ppm.

Para el caso del efluente, se registraron valores entre 39.97 ppm y 99.23 ppm, cuyo promedio calculado fue 61.92 ppm y la desviación estándar fue 19.05 ppm. Durante esta etapa el sistema reportó una eficiencia en remoción de DBO₅ de 41.83 %.

DBO ₅ DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	73.43	92.68	20.17	57.50
	VALOR MAX	126.08			
SALIDA	VALOR MIN	26.24	38.36	7.93	
	VALOR MAX	48.50			
PROMEDIO			DES. EST.	EFICIENCIA (%)	

Tabla N°13: Estadística de la DBO₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

DBO ₅ DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	66.86	82.72	12.22	45.74
	VALOR MAX	102.86			
SALIDA	VALOR MIN	25.55	43.78	15.08	
	VALOR MAX	65.75			
PROMEDIO			DES. EST.	EFICIENCIA (%)	

Tabla N°14: Estadística de la DBO₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

DBO ₅ DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	78.47	110.21	48.98	41.83
	VALOR MAX	229.0			
SALIDA	VALOR MIN	39.97	61.92	19.05	
	VALOR MAX	99.23			
PROMEDIO			DES. EST.	EFICIENCIA (%)	

Tabla N°15: Estadística de la DBO₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

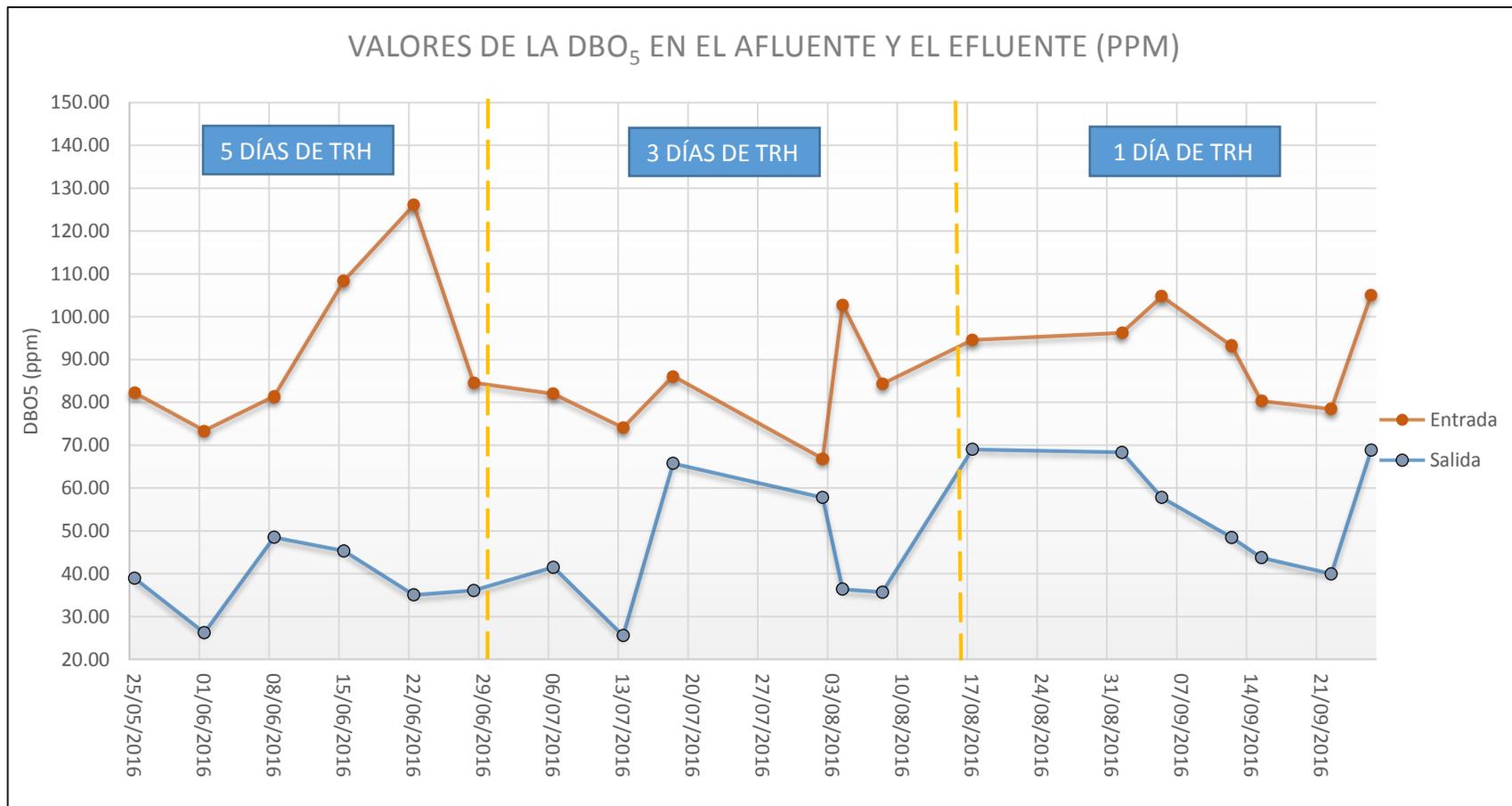


Gráfico N°24: Registro de la DBO₅ en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.
(Fuente propia)

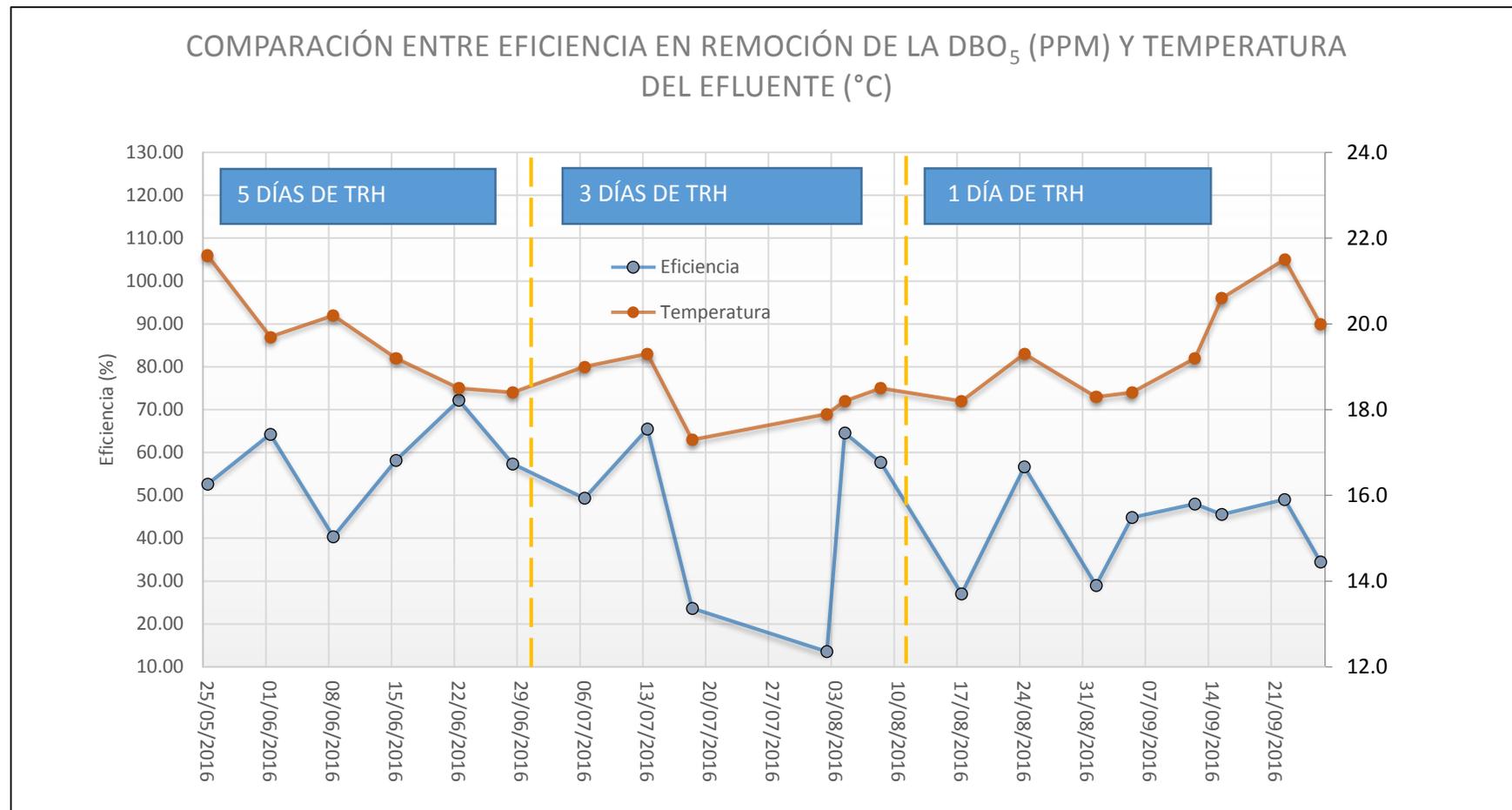


Gráfico N°25: Comparación entre la eficiencia en remoción de la DBO₅ y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

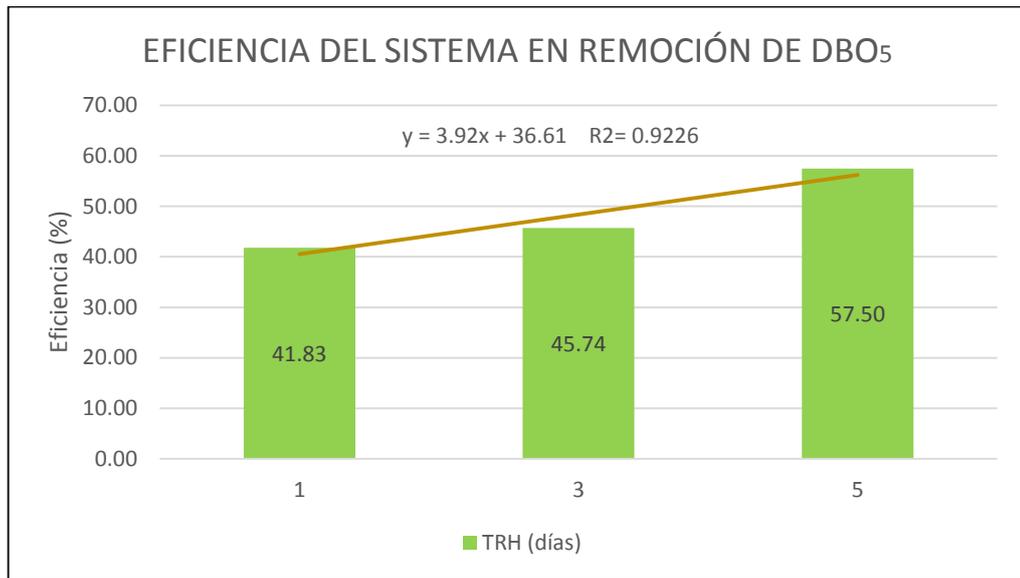


Gráfico N°26: Eficiencia promedio en remoción de DBO₅ del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

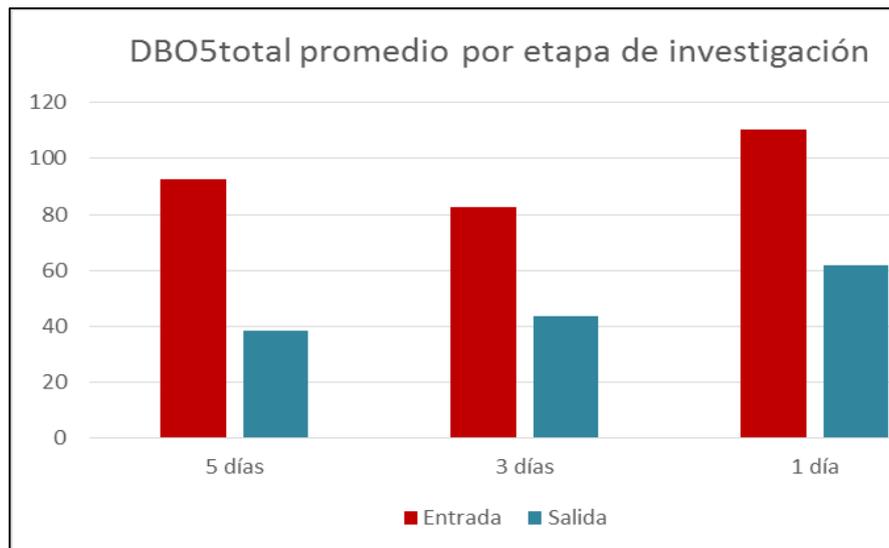


Gráfico N°27: Comparación de la DBO₅ en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

1.2. ANÁLISIS DE LA DBO₅

Según lo mostrado en la Grafica N° 24, los valores de la DBO₅ en el afluente durante toda la investigación tienen una tendencia a aumentar, aunque presenta ciertos picos como lo que ocurre en durante la etapa de 5 días de TRH.

Por su parte el efluente tiene un comportamiento similar, aumentado en promedio sus valores a medida que pasa el tiempo, pero siendo estos más estables que lo mostrado para el afluente ya que no presenta picos considerables.

Se puede observar que durante toda la investigación los valores de la DBO₅ del efluente fueron menores a los registrados en el afluente, considerando que entre los días 13/07/16 y 03/08/16 se observa un aproximamiento importante de los valores del afluente y el efluente, cosa que repercutirá en el gráfico de la eficiencia.

El comportamiento de la eficiencia del sistema y su relación con la temperatura y el tiempo de retención hidráulica lo muestra la Gráfica N° 45, donde se evidencia que a medida que se disminuye el TRH disminuye la eficiencia del sistema, cuyos porcentajes de diferencia se muestra en las Tablas 13, 14 y 15.

Existen dos puntos de caída de eficiencia durante la etapa de TRH de 3 días, mientras que los valores de la DBO₅ en el efluente se mantuvieron constante. Dicha situación se observa en la Gráfica N° 25.

En el Gráfico N° 26 se observa que entre el TRH de 1 día y de 3 días no exista diferencia notoria en la eficiencia de remoción, mientras que a 5 día de TRH la eficiencia llega a 57.5%

2. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (DQO_{total})

13.1. RESULTADO DE LA DQO_{total}

Para el presente parámetro, la estadística que nos muestra la Tabla N° 16 con respecto al TRH de 5 días, se tiene que los valores en el afluente variaron entre 150 ppm y 306 ppm, siendo el promedio 247 ppm, con una desviación estándar de 37.5 ppm.

Se tiene que en el afluente se reportó el valor mínimo de 118 ppm y un máximo de 197 ppm, siendo el promedio 161.1 ppm y la desviación estándar de 23.2 ppm. Cabe mencionar que en durante esta etapa de investigación la eficiencia promedio lograda por el sistema fue 33.8%.

La Tabla N° 17 nos muestra que el valor mínimo reportado fue de 148 ppm y el máximo de 378 ppm, siendo el promedio 218.9 ppm y la desviación estándar calculada de 53.6 ppm.

Por otro lado, en el efluente del sistema se reportó valores entre 124 ppm y 209 ppm, donde el promedio calculado fue de 160.3 ppm y la desviación estándar de 20.8 ppm. Cabe resaltar que la eficiencia lograda fue de 23.4 % durante este periodo de evaluación de 3 días de Tiempo de Retención Hidráulica.

Finalmente la Tabla N° 18 nos muestra los datos obtenidos de la etapa a 1 día de TRH, donde el afluente varía su concentración entre 82 ppm y 215 ppm, siendo el promedio 177.9 ppm y la desviación estándar de 27.6 ppm.

También se tiene el efluente reportó valores entre 76 ppm y 172 ppm, siendo el promedio 142.3 ppm y la desviación estándar calculada de 20 ppm. Durante la presente etapa la eficiencia del sistema reportó un valor promedio de 19.2 %.

DQO total DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	150	247.0	37.5	33.8
	VALOR MAX	306			
SALIDA	VALOR MIN	118	161.6	23.2	
	VALOR MAX	197			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°16: Estadística de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

DQOtotal DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	148	218.9	53.6	23.4
	VALOR MAX	378			
SALIDA	VALOR MIN	124	160.3	20.8	
	VALOR MAX	209			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°17: Estadística de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

DQOtotal DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	82	177.9	27.6	19.20
	VALOR MAX	215			
SALIDA	VALOR MIN	76	142.3	20.0	
	VALOR MAX	172			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°18: Estadística de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

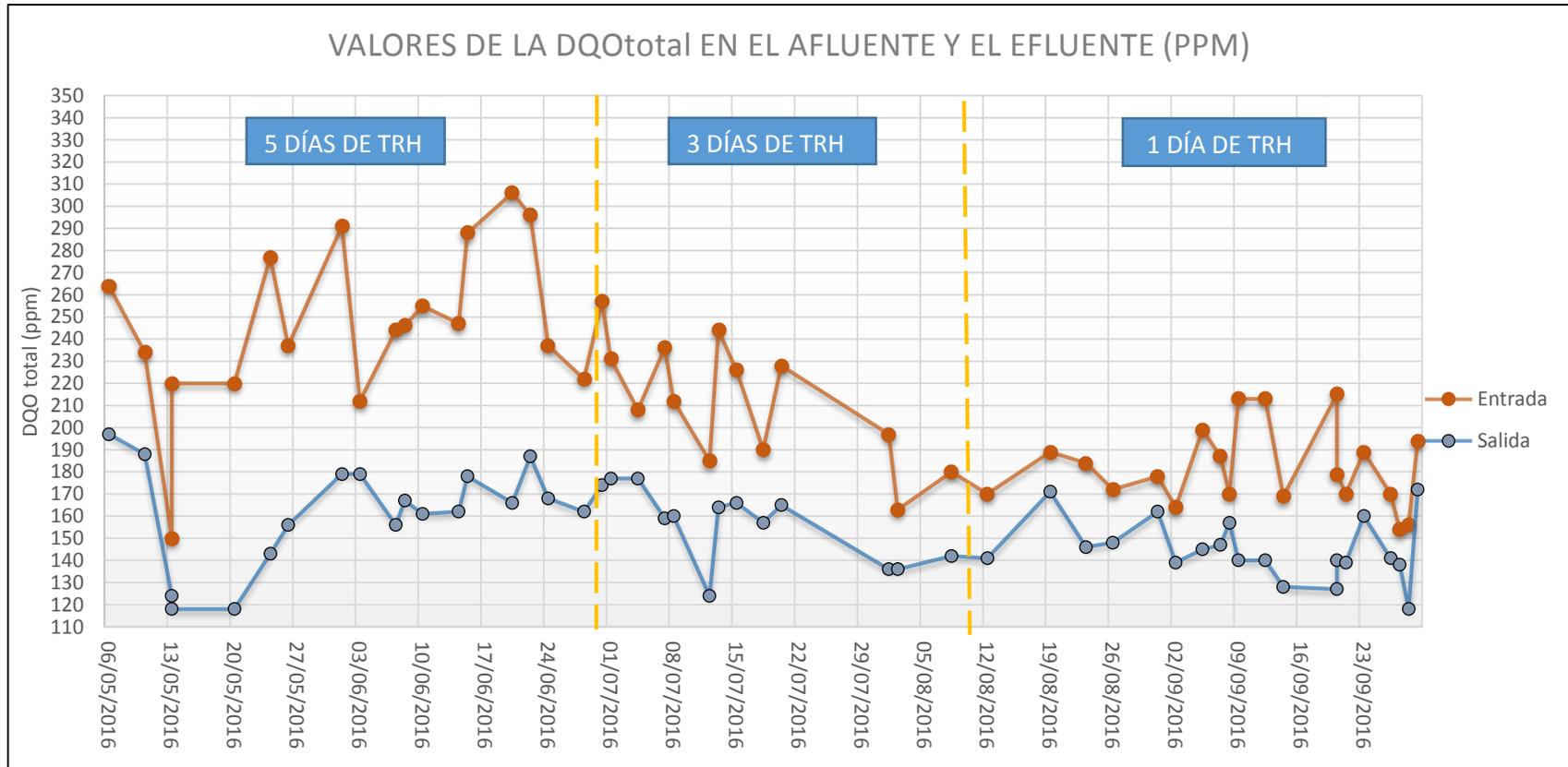


Gráfico N°28: Registro de la DQO_{total} en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

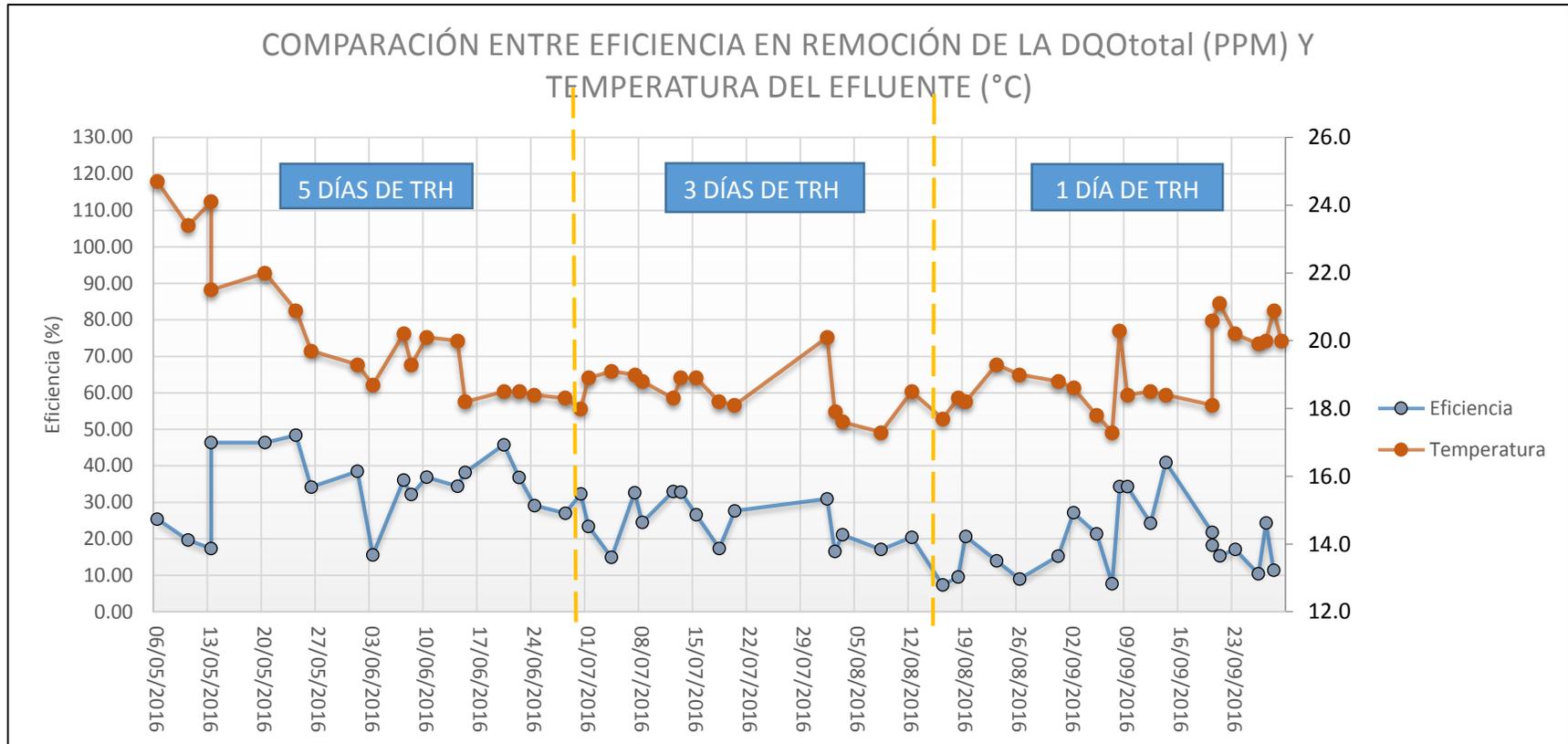


Gráfico N°29: Comparación entre la eficiencia en remoción de la DQO_{total} y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

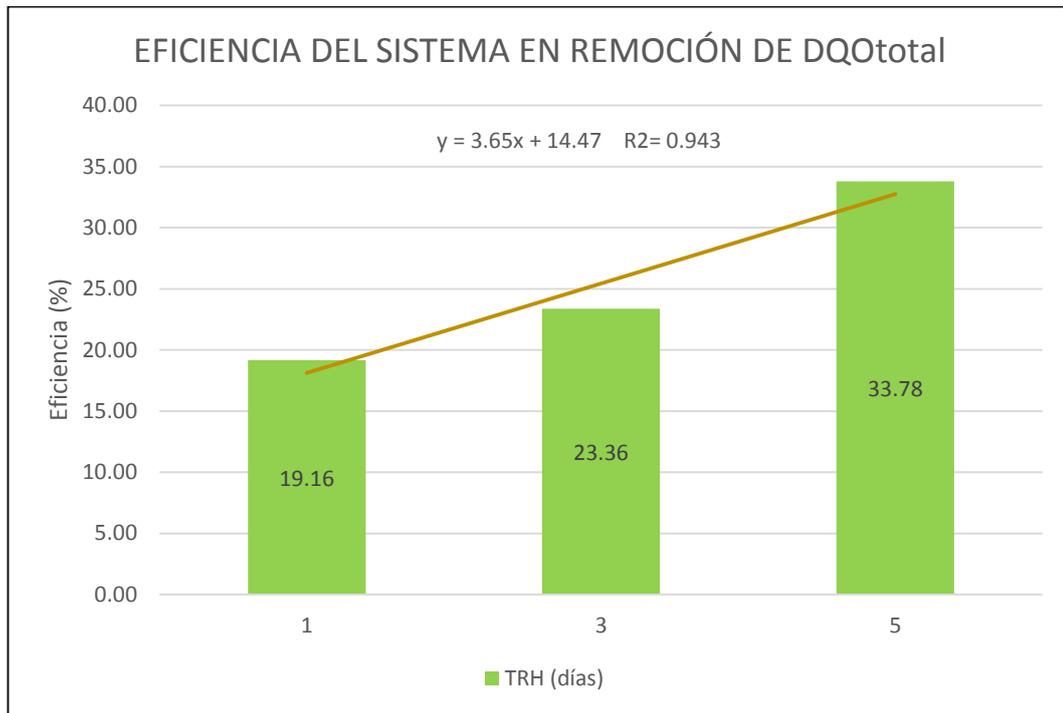


Gráfico N°30: Eficiencia promedio en remoción de DQOtotal del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

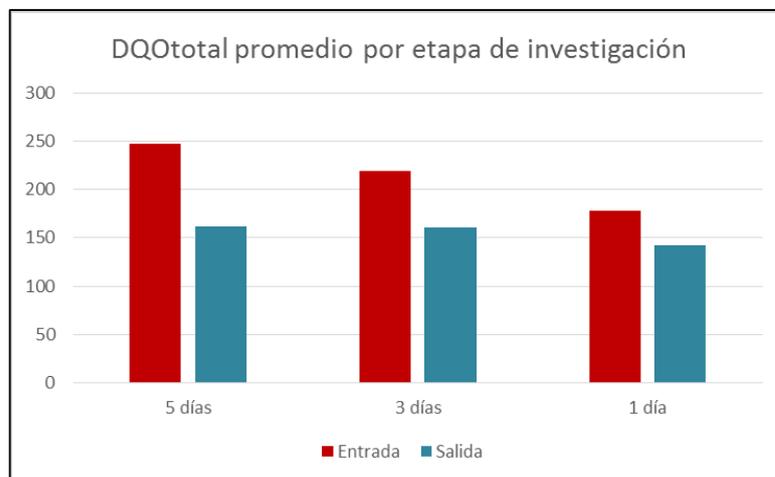


Gráfico N°31: Comparación de la DQOtotal en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

13.2. ANÁLISIS DE LA DQOtotal

El Gráfico N° 28 nos muestra el comportamiento de la DQO total tanto en el afluente como en el efluente por cada etapa de la investigación, se puede observar que para la DQO en la entrada del sistema disminuye

conforme pasa el tiempo sin considerar los hitos entre etapas de investigación.

Por otro lado, los valores reportados y graficados para el efluente del sistema se muestran relativamente constantes en el tiempo a pesar de los cambios en el comportamiento hidráulico que se le añadió. Por tal motivo se puede observar que la brecha entre la concentración de entrada y la de salida va disminuyendo en el tiempo.

Lo anterior afectará en la eficiencia del sistema dado que lo que cambia es básicamente la concentración de DQO total en la entrada, mas no la que se reporta en la salida.

Para el Gráfico N° 29 que compara la eficiencia del sistema con la temperatura del efluente, se muestra que para el caso de las dos primeras etapas la temperatura desciende (mayo – agosto), siendo similar el comportamiento de la eficiencia del sistema.

De la misma manera, en la última etapa de la investigación (1 día de TRH) la temperatura tiende a aumentar al igual que la eficiencia del humedal artificial, siendo el incremento de la eficiencia menos pronunciada en el último tramo de dicha etapa.

Finalmente, cabe mencionar que la eficiencia dependió también de la concentración de DQO total de la entrada que estaba en función de la eficiencia del reactor UASB, cuyo efluente era captado para abastecer de agua residual a la investigación.

Según el Gráfico N° 30, se muestra a través de las barras que la eficiencia promedio para la etapa a 5 días de TRH fue de 33.8%. Según el gráfico hay un crecimiento en la eficiencia aproximadamente proporcional a los tiempos de retención.

3. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE (DQOsoluble)

14.1. RESULTADO DE LA DQOsoluble

La Tabla N° 19 nos muestra la estadística del presente parámetro a 5 días de TRH, donde el afluente reporta valores entre 128 ppm y 232 ppm, siendo el promedio calculado de 188 ppm y teniendo la desviación estándar un valor de 29.3 ppm.

Por su parte el efluente tuvo como valor mínimo a 89 ppm y máximo a 147 ppm, el valor promedio calculado fue de 115.8 ppm y la desviación estándar de 18.6 ppm. Además la eficiencia promedio reportada para esta etapa de investigación fue de 38%

Para el caso de la etapa a 3 días de TRH, el afluente reportó un valor máximo de 183 ppm y un mínimo de 96 ppm, el valor promedio para la entrada fue de 159.7 ppm y una desviación estándar de 20.6 ppm.

El efluente reportó valores entre 89 ppm y 140 ppm, siendo el promedio calculado de 114.5 ppm y un valor de desviación estándar de 29.3 ppm. Con respecto a la eficiencia de remoción pues se reportó que tuvo un promedio de 29.3%.

Finalmente la Tabla N° 21 nos muestra que a un TRH de 1 día la entrada al sistema reportó valores entre 57 ppm y 170 ppm, calculando un promedio de 120.9 ppm y una desviación estándar de 23.9 ppm.

En cuando a la salida, el sistema reportó un valor máximo de 131 ppm y un mínimo de 33 ppm, con un promedio de 100 ppm y una desviación estándar de 19.2 ppm. Por último, el sistema tuvo una eficiencia promedio en remoción de DQO soluble de 17.8%.

DQO soluble DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	128	188.0	29.3	38.1
	VALOR MAX	232			
SALIDA	VALOR MIN	89	115.8	18.6	
	VALOR MAX	147			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°19: Estadística de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

DQO soluble DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	96	159.7	20.6	29.3
	VALOR MAX	183			
SALIDA	VALOR MIN	89	114.5	15.4	
	VALOR MAX	140			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°20: Estadística de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

DQO soluble DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	57	120.9	23.9	17.8
	VALOR MAX	170			
SALIDA	VALOR MIN	33	100.0	19.2	
	VALOR MAX	131			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°21: Estadística de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

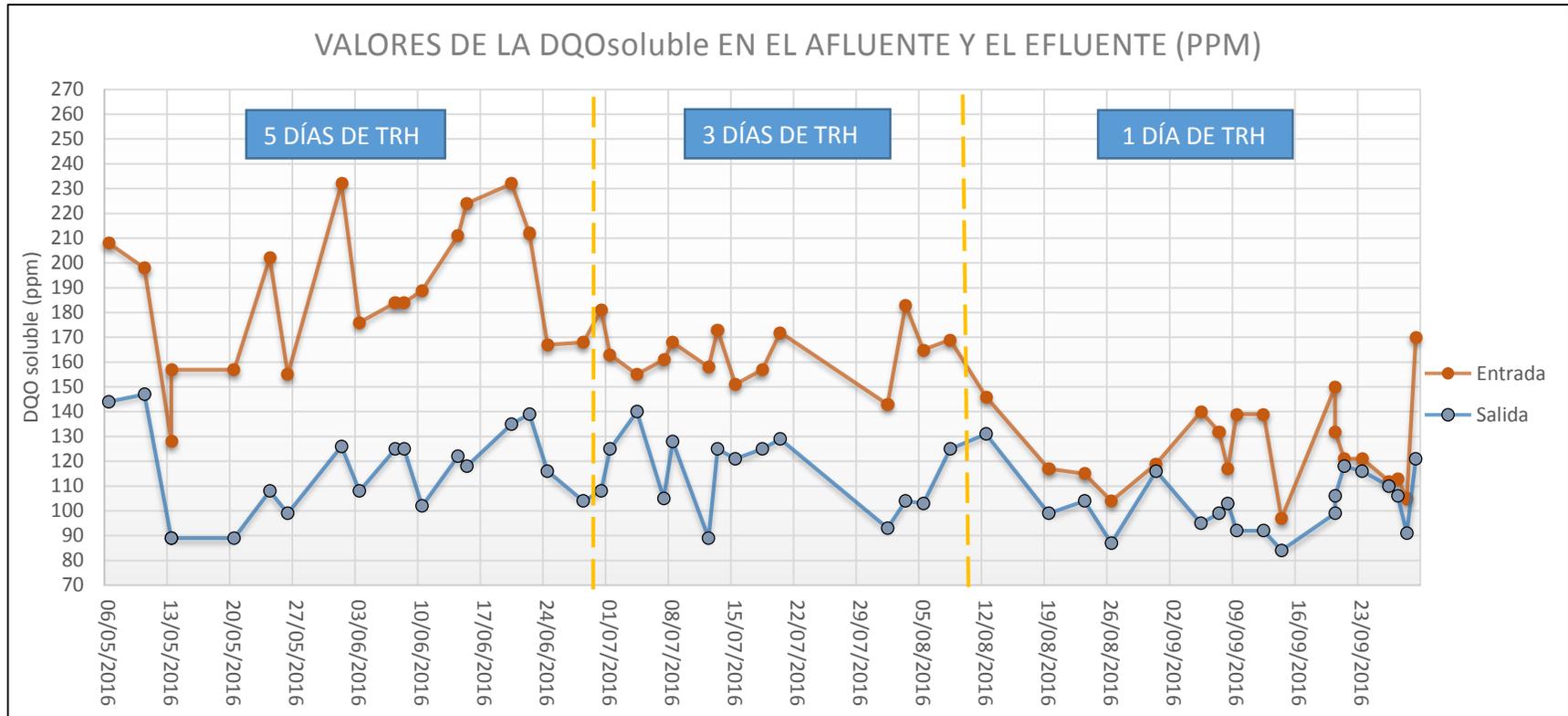


Gráfico N°32: Registro de la DQO soluble en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

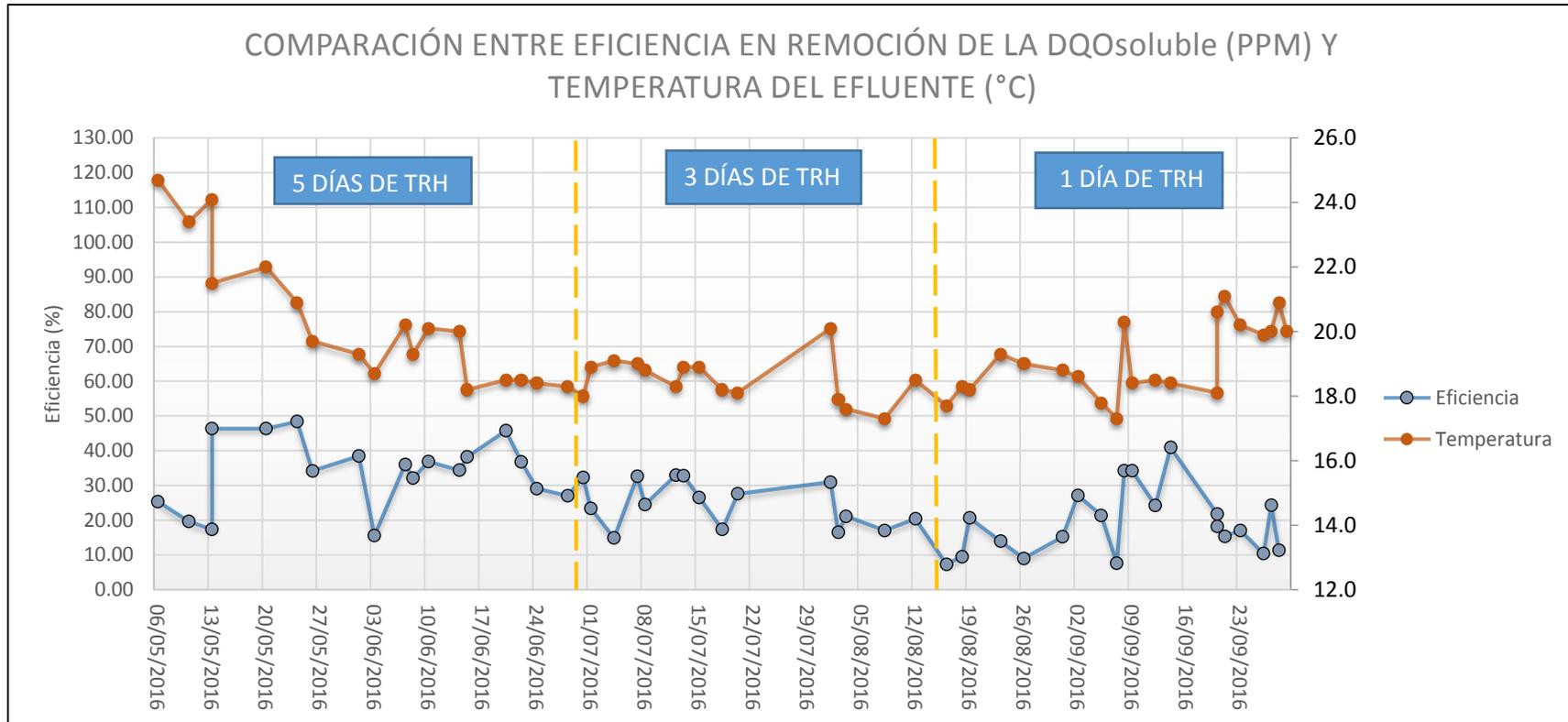


Gráfico N°33: Comparación entre la eficiencia en remoción de la DQO soluble y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

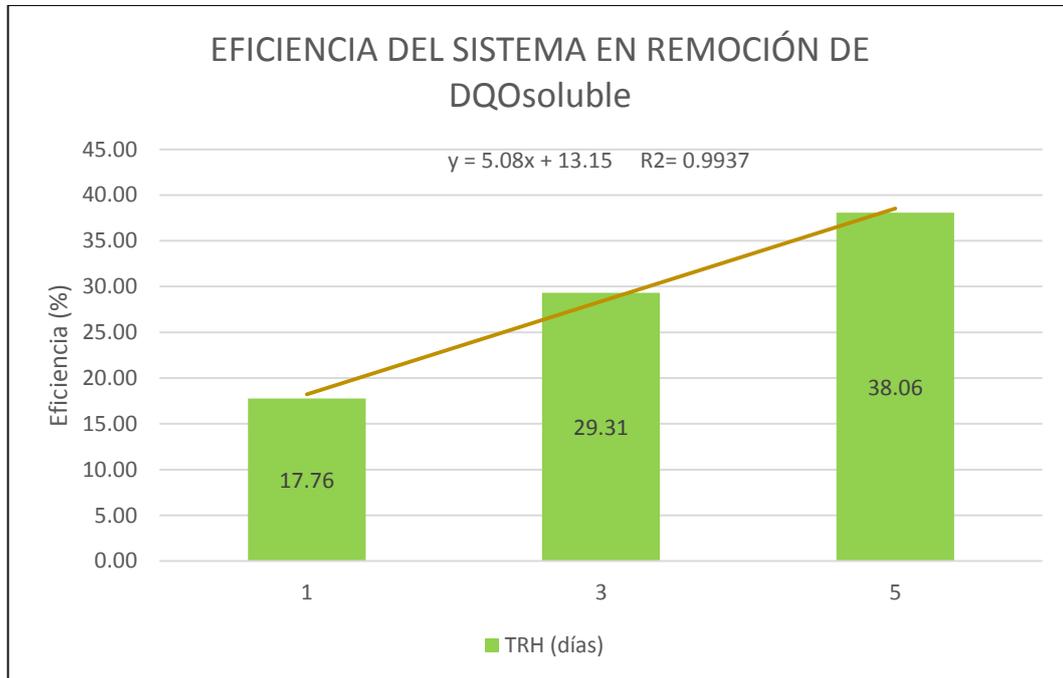


Gráfico N°34: Eficiencia promedio en remoción de DQOsoluble del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

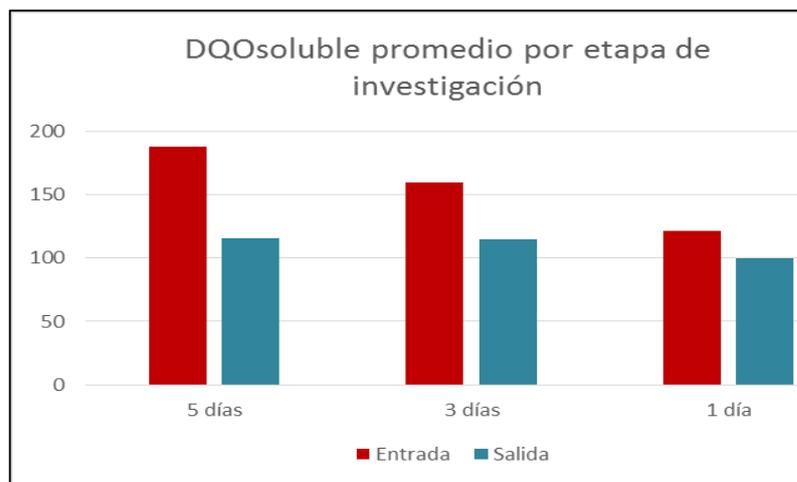


Gráfico N°35: Comparación de la DQOsoluble en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

14.2. ANÁLISIS DE LA DQO soluble

El comportamiento del parámetro DQO soluble tanto en el afluente como en el efluente nos lo muestra el Gráfico N° 32, donde se observa un comportamiento del afluente con tendencia a disminuir la concentración de DQO soluble.

Por su parte la DQO soluble en el efluente del sistema reporta y muestra valores relativamente estables, teniendo una ligera tendencia a disminuir en el tiempo o conforme disminuye el Tiempo de Retención Hidráulico del humedal artificial.

Por tal motivo se observa una disminución en la brecha entre la línea del afluente (rojo) y la del efluente (azul), lo que representa una disminución en la eficiencia del sistema, situación similar ocurre con el comportamiento de la DQO total del ítem 13.

Par el caso del Gráfico N° 33, se observa una tendencia a disminuir la eficiencia del sistema a lo largo de toda la investigación. Si se focaliza cada tiempo de retención hidráulica se puede observar que durante la primera etapa la eficiencia disminuyó al igual que la temperatura.

Para la segunda etapa también se observa una disminución de la temperatura, al igual que la eficiencia. Mientras que para el TRH de 1 día se observa un aumento de la eficiencia en la mayoría de muestreos así como también un aumento de la temperatura del efluente.

Es así que la temperatura ejerce una influencia importante sobre el sistema en cada etapa, así como también los cambios en las condiciones hidráulicas afectan en la eficiencia al humedal artificial.

A través del Gráfico N° 34 se muestra que la eficiencia en remoción de DQO soluble es prácticamente proporcional con el tiempo de retención de cada etapa. El valor máximo alcanzado fue a 5 días de Tiempo de Retención Hidráulica con 38%.

4. NITRATOS

10.1. RESULTADO DE LOS NITRATOS

La Tabla N° 22 muestra la estadística de los nitratos a 5 días de TRH donde el afluente registra valores entre 4.8 ppm y 32.2 ppm, siendo el promedio 17 ppm y la desviación estándar 9.01 ppm.

Por otro lado, el efluente tomó el valor máximo de 8.0 ppm y un mínimo de 0.2 ppm. Además el promedio fue 4.62 ppm y la desviación estándar de 2.53 ppm. Además se calculó que la eficiencia promedio de nitratos del sistema a 5 días de TRH es 67.06%.

La estadística para la etapa de investigación a TRH de 3 días, según la Tabla N° 23, muestra que los valores del afluente variaron entre 3.4 ppm y 23.2 ppm, siendo el promedio calculado 17.52 ppm y la desviación estándar 6.85 ppm.

Además se tiene que efluente registró valores entre 1.2 ppm y 20.0 ppm, donde el promedio hallado fue 10.88 ppm con una desviación estándar de 6.56 ppm. Además los cálculos muestran que la eficiencia del sistema durante esta etapa de la investigación fue de 38.09 %.

En la Tabla N° 24 se muestra que a un TRH de 1 día el valor del afluente tomó un máximo de 27.3 ppm y un mínimo de 8.1 ppm, también se tiene que el promedio fue 19.73 ppm y la desviación estándar fue 5.38 ppm.

En el caso del efluente se registraron valores entre 6.8 ppm y 22.5 ppm, donde el promedio calculado fue 16.44 ppm y la desviación estándar fue de 4.58 ppm. Además se muestra que la concentración de nitratos en el efluente con respecto al afluente disminuyó en un 16,68 %.

NITRATOS DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	4.8	16.96	9.01	67.06
	VALOR MAX	32.2			
SALIDA	VALOR MIN	0.2	4.62	2.53	
	VALOR MAX	8.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°22: Estadística de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

NITRATOS DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	3.4	17.52	6.46	38.09
	VALOR MAX	23.2			
SALIDA	VALOR MIN	1.2	11.97	6.96	
	VALOR MAX	20.7			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°23: Estadística de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

NITRATOS DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	8.1	19.73	5.38	16.68
	VALOR MAX	27.3			
SALIDA	VALOR MIN	6.8	16.44	4.58	
	VALOR MAX	22.5			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°24: Estadística de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

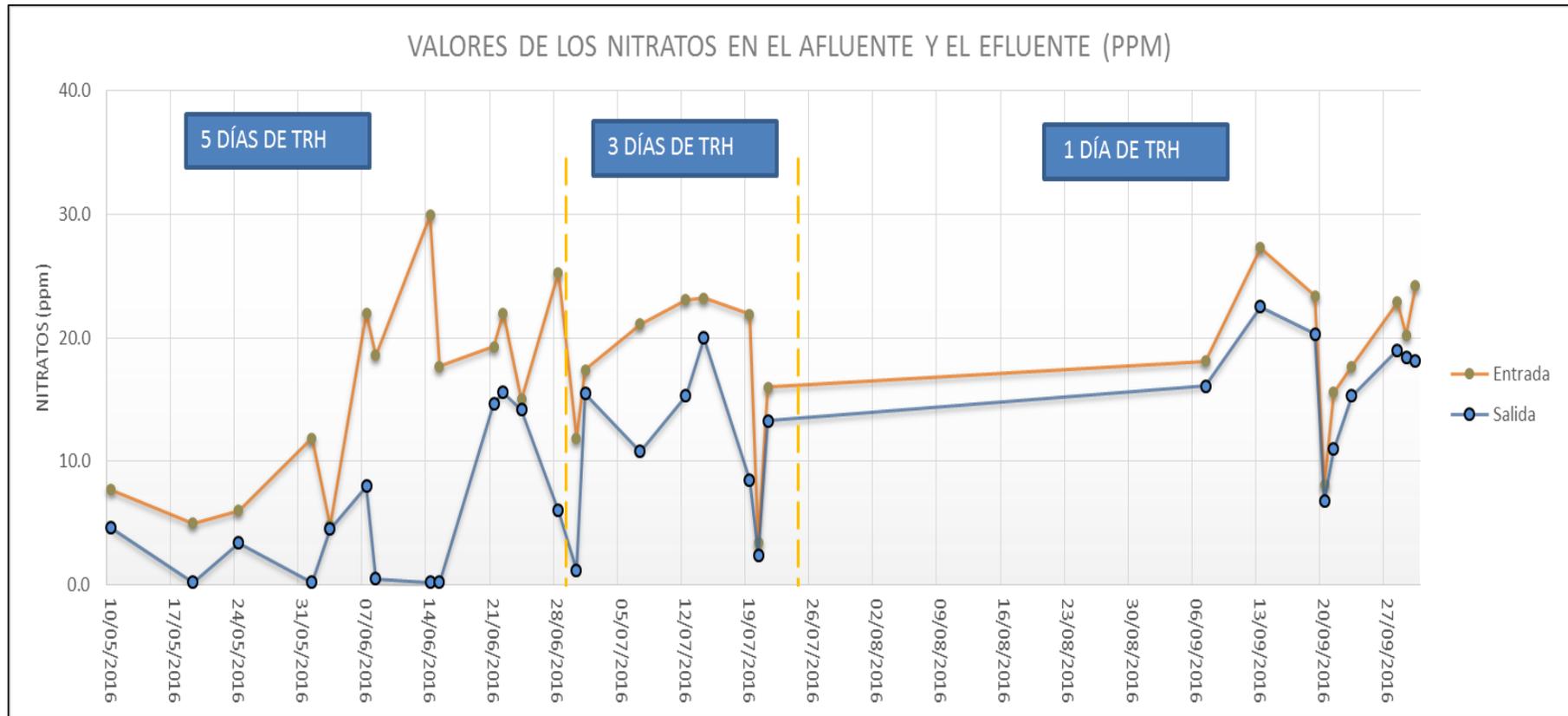


Gráfico N°36: Registro de los nitratos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

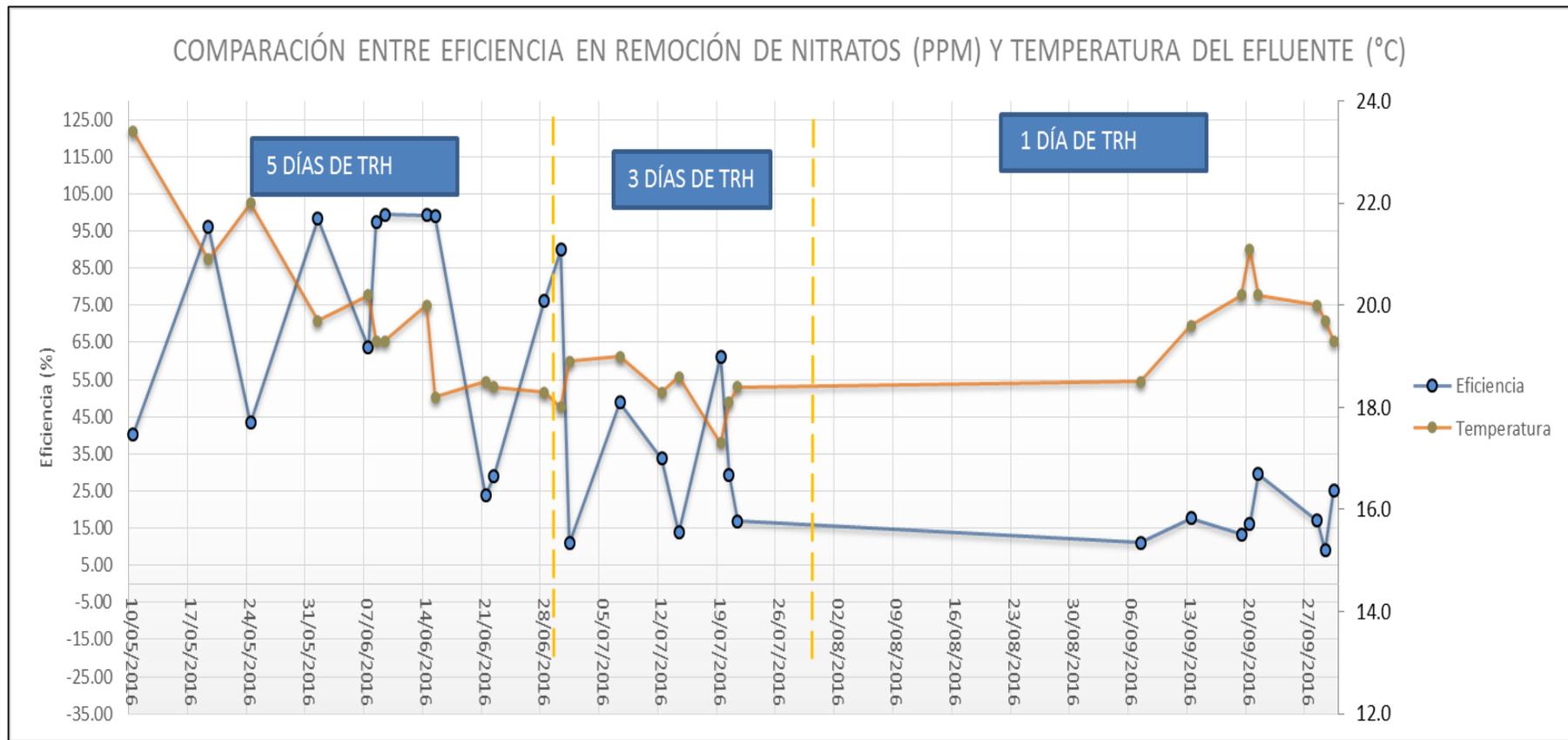


Gráfico N°37: Comparación entre la eficiencia en remoción de nitratos y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

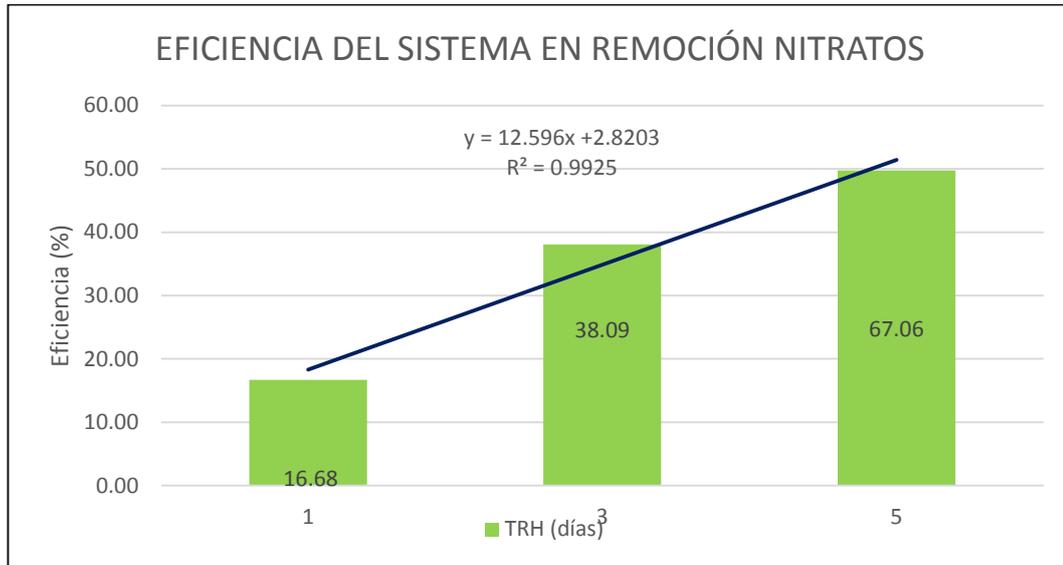


Gráfico N°38: Eficiencia promedio en remoción de Nitratos del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

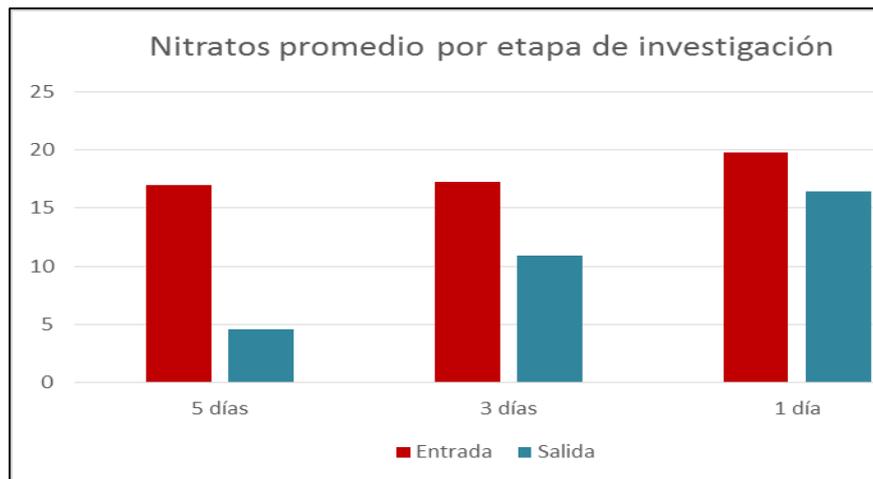


Gráfico N°39: Comparación de los nitratos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

10.2. ANÁLISIS DE LOS NITRATOS

Según lo que se muestra en el Gráfico N° 26 respecto al registro de los valores de nitratos tanto en el afluente como en efluente, se tiene que durante la etapa a 5 días de TRH la concentración de nitratos en la entrada y la salida del sistema son en general menores que en las otras dos etapas de la investigación.

Durante la etapa de 1 día de TRH los valores tanto de entrada como de salida son muy variables y no permiten observar alguna tendencia de la gráfica tanto del afluente como del efluente, aunque se observa que durante toda la investigación el valor de nitratos en la entrada influye en el valor de la salida ya que las dos concentraciones tienen la mismo comportamiento, tanto de ser estables (caso de la 1ra etapa) como muy variables (caso de la 3 etapa).

En el Gráfico N°37 se observa tanto la eficiencia del sistema en remoción de nitratos como la temperatura del efluente, gráfico que nos ayuda a entender si la temperatura influye en el presente parámetro, pues observando solamente la línea azul, es evidente que la eficiencia en remoción de nitratos es más alta a 5 días de TRH, además tiende a disminuir dicha eficiencia conforme también lo hace la temperatura (línea roja).

En las otras dos etapas también se evidencia una tendencia a caer los valores de la eficiencia y que estos son mucho menores conforme se disminuye el tiempo de retención hidráulica.

En el Gráfico N° 38 se puede observar claramente la tendencia a aumentar la eficiencia en remoción de nitratos, donde cada barra representa una etapa de evaluación y su respectiva eficiencia promedio.

Un complemento del presente parámetro son los nitritos que en la siguiente sección se describirá con sus tablas estadísticas y gráficos respectivos.

5. NITRITOS

12.1. RESULTADO DE LOS NITRITOS

Según la Tabla N° 25, el sistema operando a 5 días de TRH tuvo como valor máximo registrado de entrada a 22 ppm y como mínimo 5 ppm, también se tiene que el promedio fue 10.06 ppm y una desviación estándar de 5.17 ppm.

Para el caso del efluente del sistema, se registraron valores entre 0.4 ppm y 13 ppm, donde el promedio calculado fue de 5.53 ppm y una desviación estándar de 3.14 ppm. Es importante mencionar que la eficiencia promedio del sistema en esta etapa fue de 49.78 %.

La estadística mostrada en la Tabla N° 26 nos muestra que a 3 días de TRH el afluente mostro valores entre 5 ppm y 7 ppm, siendo el promedio 6 ppm con una desviación estándar de 0.87 ppm.

Por su parte el efluente tuvo como máximo valor a 6 ppm y como mínimo 1 ppm, el promedio calculado fue 3.78 ppm y la desviación estándar fue 1.48 ppm, además la eficiencia promedio reportada fue 40.54%.

En la última etapa evaluada de 1 día de TRH, la Tabla N° 27 nos muestra que en la entrada los valores variaron entre 5 ppm y 12 ppm, siendo el promedio calculado de 6.73 ppm y una desviación estándar del rango de valores de 1.79 %.

En cuanto al efluente, todos los valores registrados oscilaron entre 1 ppm y 8 ppm, siendo el promedio calculado 4.73 ppm y la desviación estándar 1.49 ppm. Además la eficiencia promedio durante la presente etapa de investigación fue de 27.21 %.

NITRITOS DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	5.0	10.06	5.17	49.78
	VALOR MAX	22.0			
SALIDA	VALOR MIN	0.4	5.53	3.14	
	VALOR MAX	13.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°25: Estadística de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

NITRITOS DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	5.0	6.00	0.87	40.54
	VALOR MAX	7.0			
SALIDA	VALOR MIN	1.0	3.78	1.48	
	VALOR MAX	6.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°26: Estadística de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

NITRITOS DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	5.0	6.73	1.79	27.21
	VALOR MAX	12.0			
SALIDA	VALOR MIN	1.0	4.73	1.49	
	VALOR MAX	8.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA (%)

Tabla N°27: Estadística de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

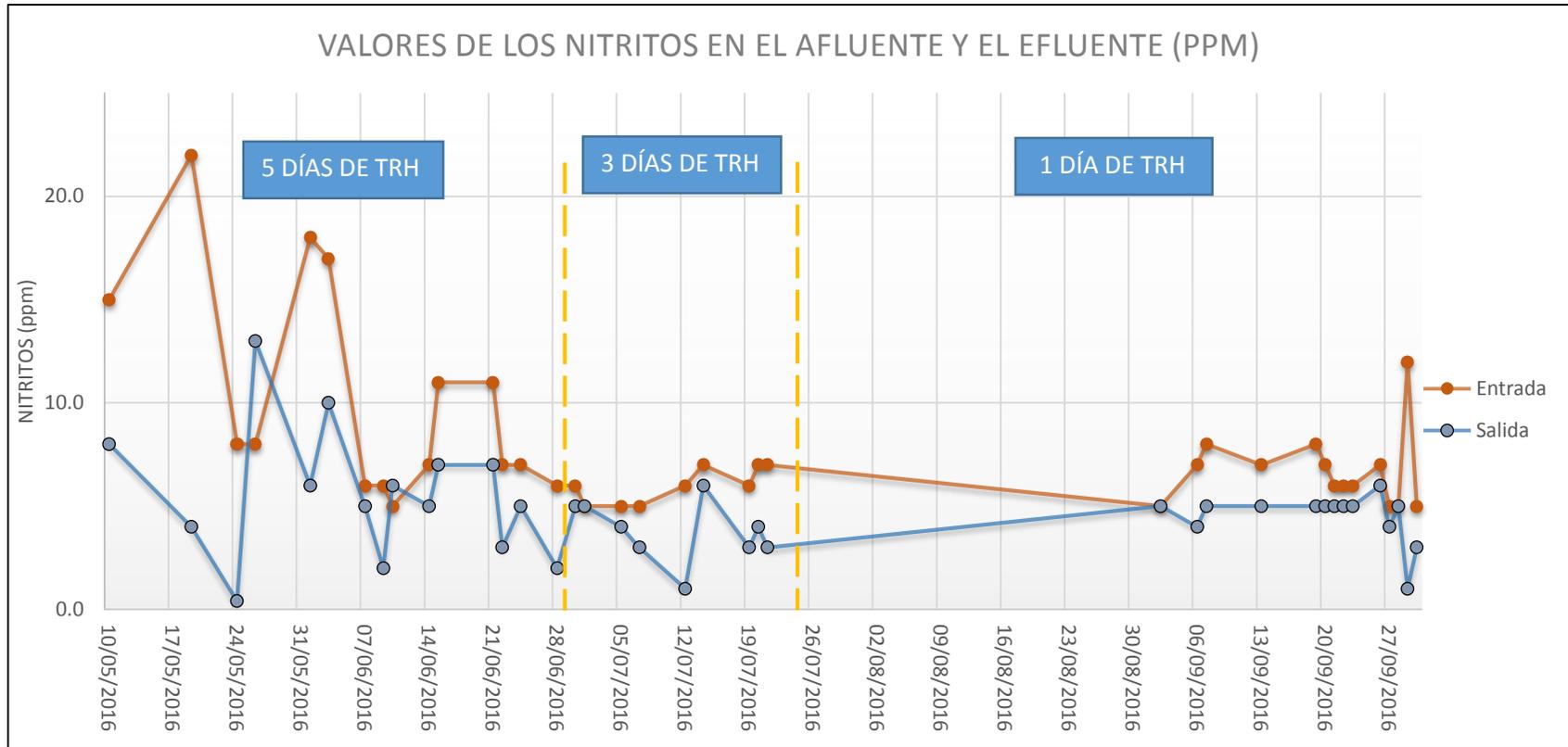


Gráfico N°40: Registro de los nitritos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

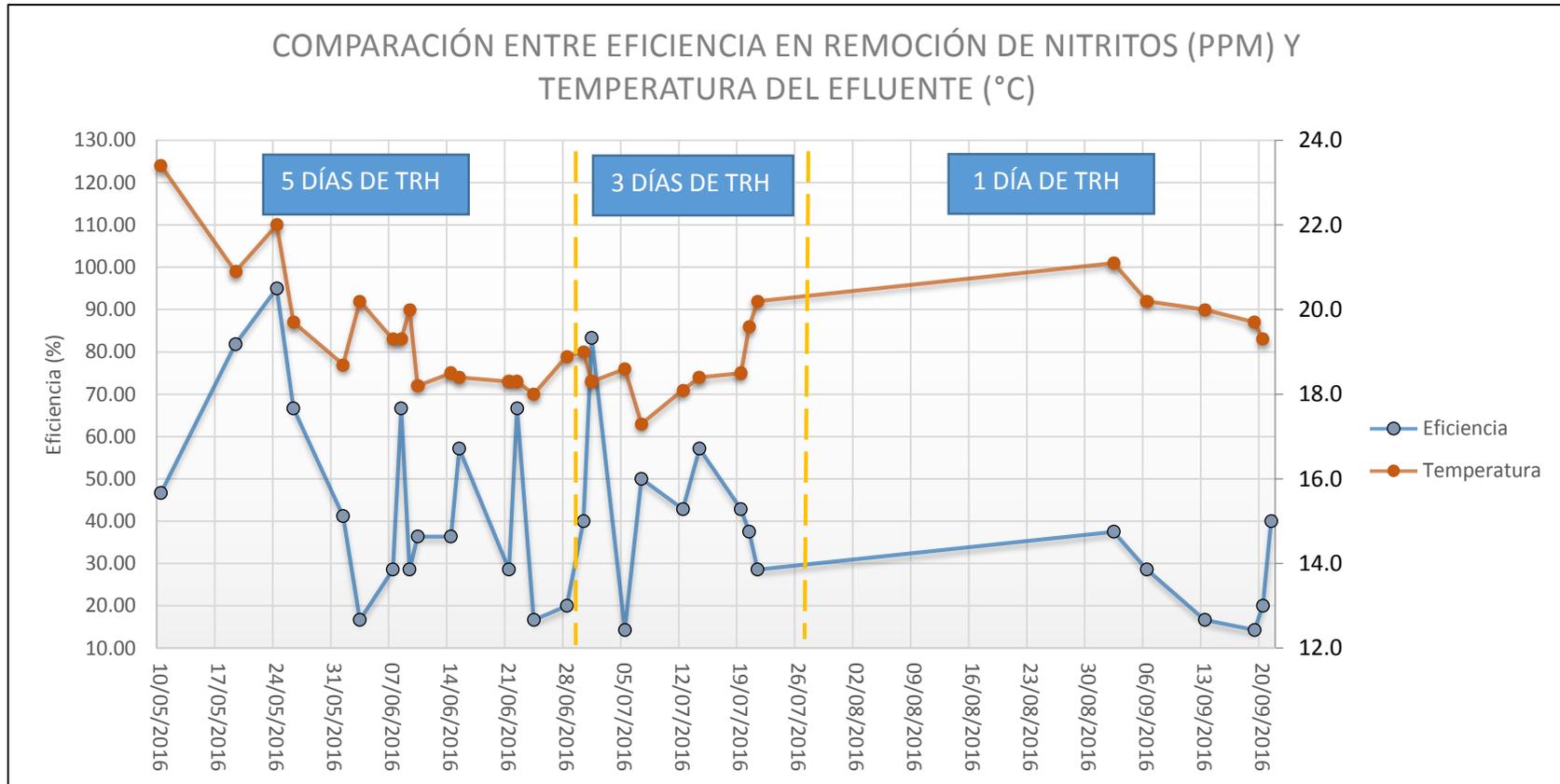


Gráfico N°41: Comparación entre la eficiencia en remoción de nitritos y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

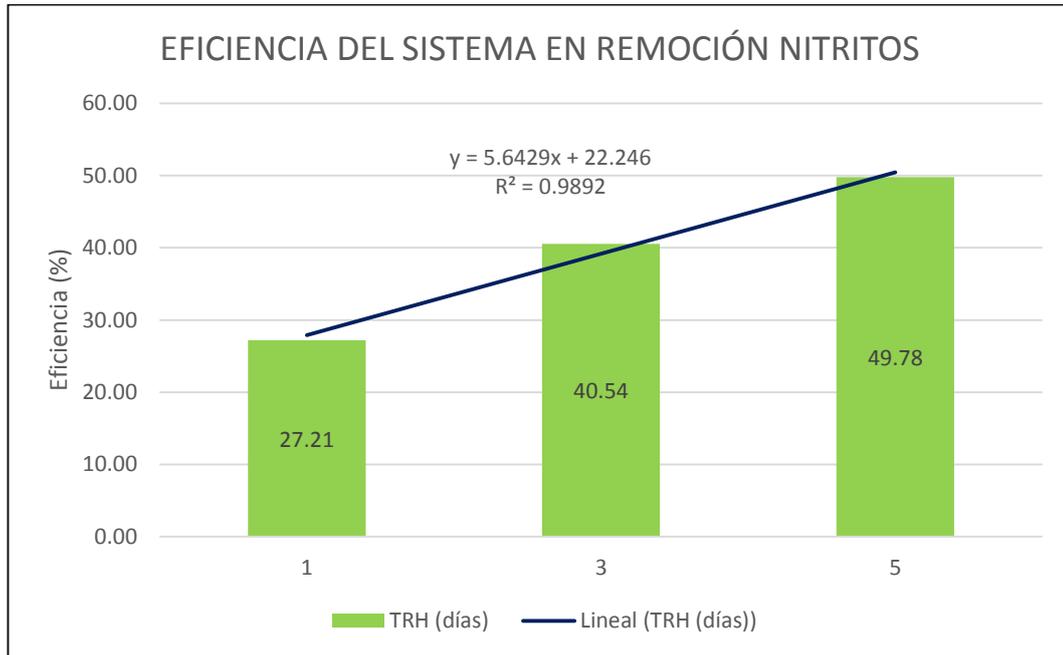


Gráfico N°42: Eficiencia promedio en remoción de Nitritos del sistema FMF según Tiempo de Retención Hidráulica de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

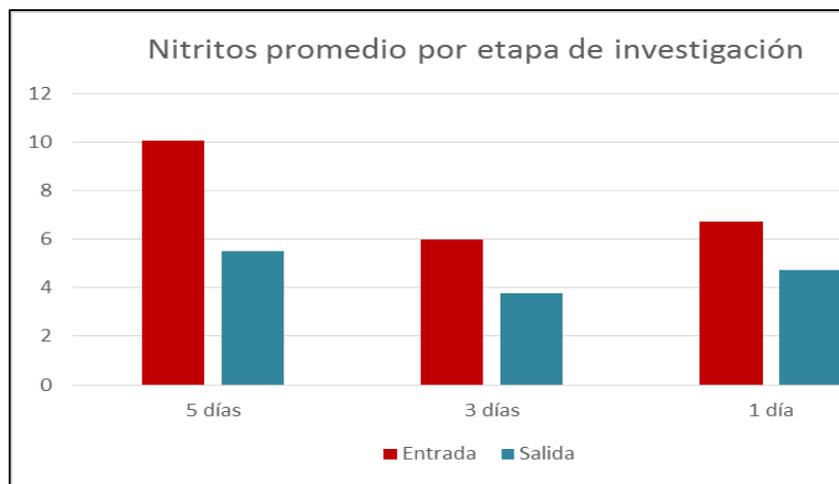


Gráfico N°43: Comparación de los nitritos en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

12.2. ANÁLISIS DE LOS NITRITOS

Según lo mostrado en la Gráfica N° 40 que reporta los valores del parámetro en el tiempo, se observa que en la primera etapa del proyecto se reportan valores de nitritos muy variables con respecto a los otros periodos de la investigación.

Además, los valores tanto del afluente como del efluente a tiempos de retención hidráulica de 1 día y 3 días no tienen el mismo comportamiento, cosa que sí se observa a 5 días de TRH donde en todo pico de nitritos en el afluente afecta en el efluente.

En el Gráfico N° 41 se compara la temperatura del efluente con la eficiencia en el tiempo del humedal artificial, donde se logra observar que la eficiencia tiende a disminuir paulatinamente a medida que vamos disminuyendo el tiempo de retención hidráulica.

También se observa el efecto de la temperatura sobre la eficiencia del sistema, sin embargo esta apreciación debe hacerse por etapa de investigación por motivo que el tiempo de retención hidráulica es la variable más influyente. Pues es notorio que en la etapa de 5 días de TRH la eficiencia disminuye al disminuir la temperatura.

Cabe mencionar que no se encuentra la misma correlación entre temperatura y eficiencia para el TRH de 3 días; sin embargo para el de 1 día si hay cierta tendencia de la eficiencia a disminuir junto con la temperatura del efluente.

En el Gráfico N° 42, se puede observar que en las tres etapas evaluadas se alcanza una eficiencia positiva, siendo la etapa de mejor rendimiento correspondiente al Tiempo de Retención Hidráulica de 5 días con un valor promedio de eficiencia de 49.8%.

6. TEMPERATURA AMBIENTAL

1.1. RESULTADO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL

Durante la etapa de investigación del humedal artificial operando a 5 días de Tiempo de Retención Hidráulica teórico (TRH) se observó que el valor máximo de temperatura dentro del humedal alcanzó el valor de 27.0 °C, mientras que el valor mínimo fue de 17.0 °C. Además el promedio de temperatura calculado fue de 19.71 °C con una desviación estándar de 2.47 °C.

También se tiene que la temperatura externa varió entre 25.0 °C y 15.0 °C, encontrándose que el promedio de temperatura fue de 18.12 °C con una desviación estándar de 2.91 °C. Se calculó que la diferencia de temperatura promedio entre la zona interna y la externa fue de 1.59 °C más en la zona interna del humedal artificial.

En cuanto a la estadística de los resultados en la etapa de evaluación a 3 días de TRH se encontró que los valores de temperatura en la zona interna estuvieron entre 16.0 °C y 19.0 °C, siendo el promedio 17.75 °C y la desviación estándar de 0.93 °C.

Además se tiene que en la zona externa la temperatura máxima registrada fue de 17.0 °C y la mínima 14.0 °C, siendo el promedio de dicho rango de valores 15.50 °C y su desviación estándar de 1.03 °C. Cabe mencionar que la temperatura interna fue mayor a la externa en un valor promedio de 2.25°C.

Por otro lado, ubicándonos en la etapa de evaluación con TRH de 1 día se obtuvo que la temperatura en la zona interna del humedal artificial se registró el valor máximo de 22.0 °C siendo el valor mínimo 17.0 °C, además el promedio obtenido fue de 19.20 °C con una desviación estándar de 1.81 °C.

Respecto a la zona externa del humedal artificial se observó que la temperatura varió entre 20.0 °C y 14.0 °C, calculando que el promedio

de temperatura fue de 17.10 °C y la desviación estándar de 2.13 °C. Se tiene que la diferencia de temperatura promedio entre el ambiente externo y el interno fue de 2.10 °C, siendo la zona interna el de mayor temperatura.

TEMPERATURA AMBIENTAL A 5 DÍAS DE TRH (°C)					
INTERNO	VALOR MAX	27.0	19.71	2.47	1.59
	VALOR MIN	17.0			
EXTERNO	VALOR MAX	25.0	18.12	2.91	
	VALOR MIN	15.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N°28: Estadística de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA AMBIENTAL A 3 DIAS DE TRH (°C)					
INTERNO	VALOR MAX	19.0	17.75	0.93	2.25
	VALOR MIN	16.0			
EXTERNO	VALOR MAX	17.0	15.50	1.03	
	VALOR MIN	14.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N°29: Estadística de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA AMBIENTAL A 1 DIA DE TRH (°C)					
INTERNO	VALOR MAX	22.0	19.20	1.81	2.10
	VALOR MIN	17.0			
EXTERNO	VALOR MAX	20.0	17.10	2.13	
	VALOR MIN	14.0			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N°30: Estadística de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

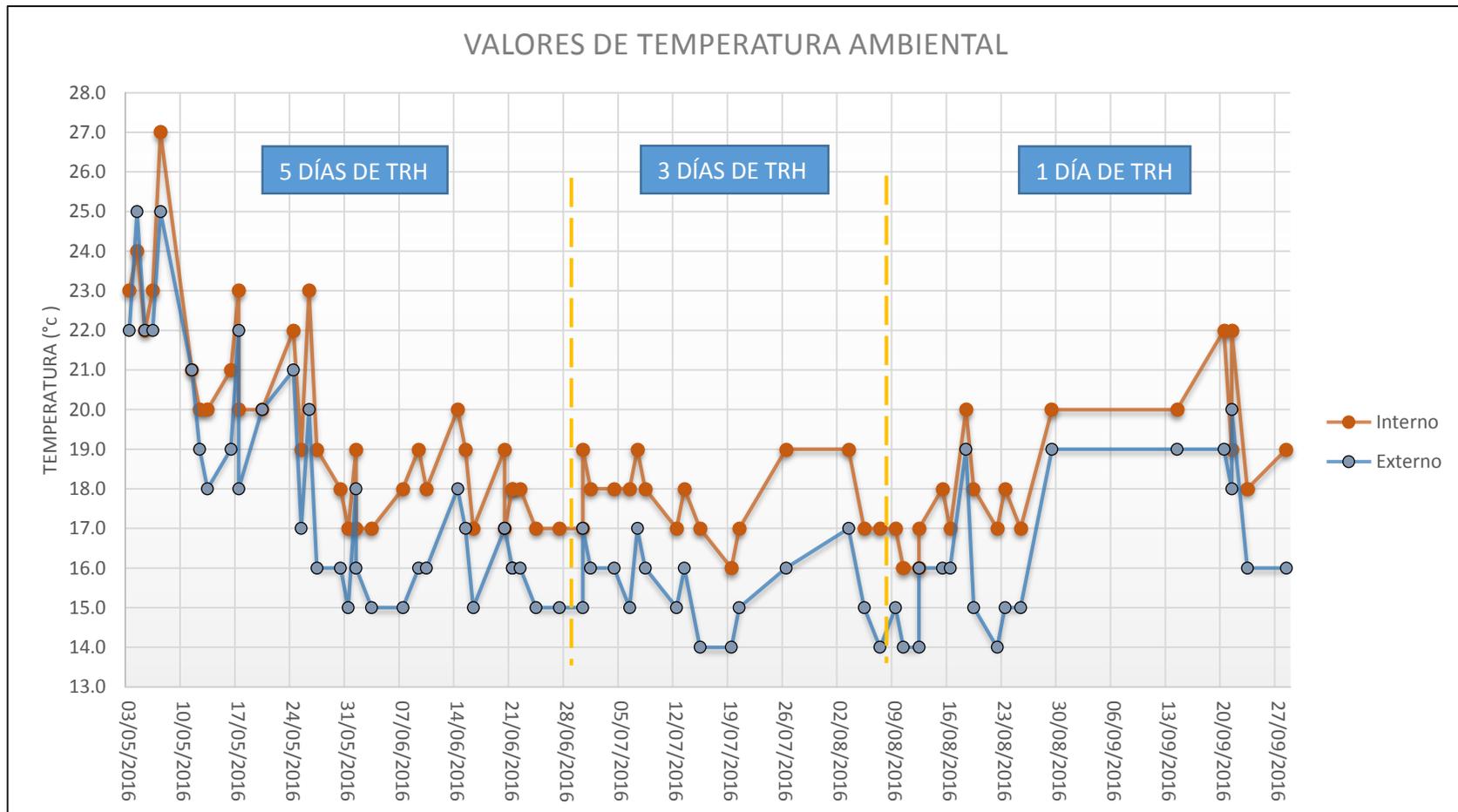


Gráfico N°44: Registro de temperatura ambiental interna y externa durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.

(Fuente propia)

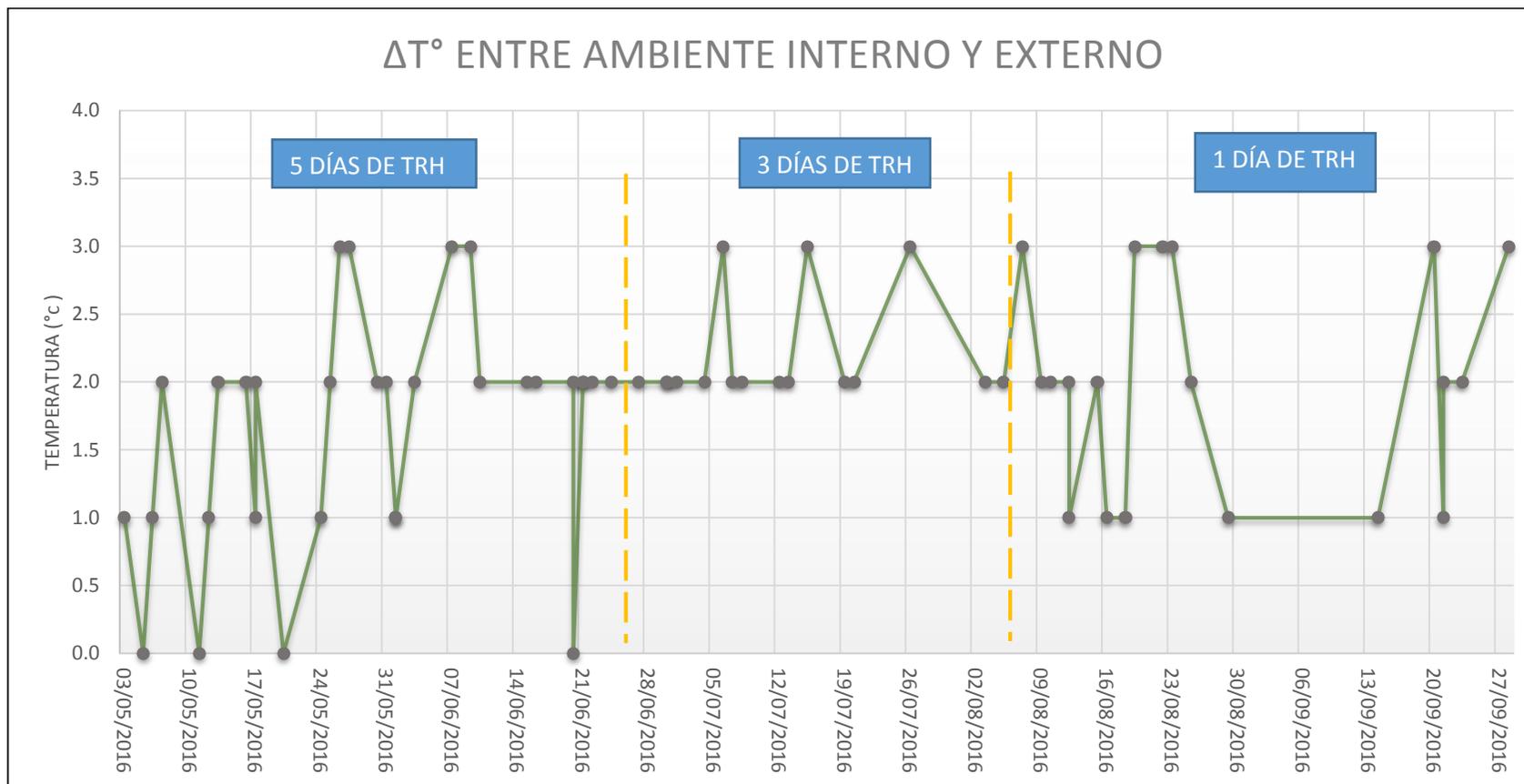


Gráfico N°45: Diferencia de temperatura ambiental interno y externo del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

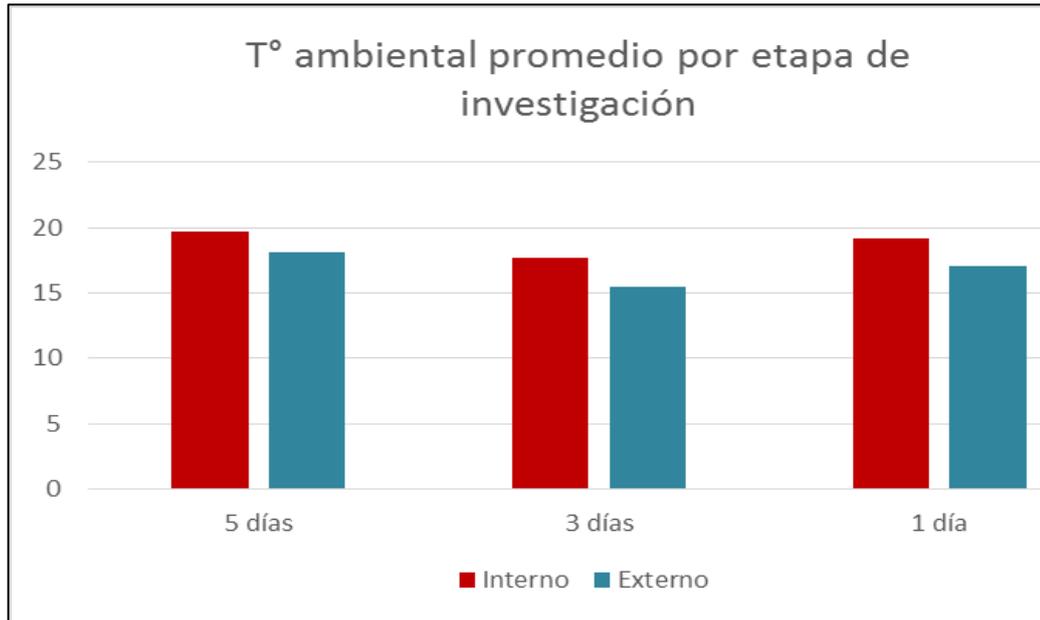


Gráfico N°46: Comparación de la temperatura ambiental interna y externa durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

1.2. ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL

En el Gráfico N°44 se puede observar que la temperatura ambiental tanto dentro como fuera del ambiente del humedal artificial tiene un comportamiento acorde con los meses en los que se monitoreó que fue desde el 03/05/16 hasta el 30/09/16, pasando por las estaciones de otoño (5 días de TRH), invierno (3 días de TRH) y primavera (1 día de TRH) marcados notoriamente por la líneas en el gráfico.

Así mismo se puede notar que durante las 3 etapas de la investigación la temperatura ambiental exterior al humedal artificial es siempre menor y en ocasiones igual que la temperatura ambiental medida en el interior del humedal de filtro de macrófitas en flotación artificial

Lo antes mencionado es consecuencia de la colocación de la malla mosquitera pues este generó un aumento de la temperatura ambiental en el humedal artificial que varía respecto a cada una de las 3 etapas de la investigación. (Ver Tablas 28, 29 y 30)

Por otro lado se puede observar en el Gráfico N° 45 que la diferencia de temperaturas del interior del humedal artificial con el exterior a él aumenta en los meses de menor temperatura y viceversa.

Lo anterior se observa en la zona de valores que están dentro de la etapa de 3 días de TRH, pues aquí el efecto de la malla mosquitera es mayor porque aumenta la temperatura en más de 2 °C la mayor parte del tiempo durante esta etapa.

Por el contrario, en la etapa de 5 días de TRH de la Gráfica N° 46 se observa que todos los valores disminuyen, lo mismo se registra en la etapa de 1 día de TRH aunque la diferencia es mayor ya que la temperatura en esa etapa de la investigación fue menor que en la mencionada al inicio.

7. TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

2.1. RESULTADO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

La temperatura del agua residual tanto en la afluente como en el efluente del sistema tomó valores variados, aunque siempre manteniendo la relación con la estación en la que se encontraba cada etapa, es así que a 5 días de TRH el valor máximo registrado en el afluente fue de 25.5 °C, mientras que el mínimo fue de 18.40 °C, el promedio calculado fue de 21.70 °C y la desviación estándar de 2.20 °C

En el efluente del humedal artificial se registró que los valores de temperatura del agua residual variaron entre 18.20 °C y 24.70°C. El promedio en la esta etapa fue de 21.07°C con una desviación estándar calculada de 2.03 °C. Además se sabe que el promedio de diferencias de temperatura entre el afluente y el efluente fue de 0.63 °C. Respecto a la estadística de la temperatura del agua residual a 3 días de TRH, en el afluente del sistema se encontró que los valores variaron entre 17.40 °C y 20.30 °C, el promedio calculado tomó el valor de 18.70 °C y la desviación estándar de 0.69 °C.

También se analizó el efluente donde se registró una temperatura máxima del agua residual de 20.10 °C, mientras que la mínima fue de 17.30 °C, siendo el promedio de todos los valores de 18.47 °C y la desviación estándar de 0.67 °C. Es importante mencionar que la temperatura en el efluente del sistema fue en promedio 0.23 °C menor que en el afluente. Para finalizar, durante la etapa de 1 día de TRH se registró una temperatura máxima del agua residual del afluente de 22.5 °C siendo la mínima de 17.80 °C, el promedio hallado fue de 19.68 °C con una desviación estándar de 1.21 °C.

En el efluente del sistema durante la misma etapa los valores de temperatura del agua residual variaron entre 17.30 °C y 21.50 °C. El promedio tomó el valor de 19.24 °C con una desviación estándar de 1.07 °C. Además la temperatura del agua residual en el afluente fue en promedio 0.45 °C mayor al que se registró en el efluente.

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (°C)					
ENTRADA	VALOR MAX	25.50	21.70	2.20	0.63
	VALOR MIN	18.40			
SALIDA	VALOR MAX	24.70	21.07	2.03	
	VALOR MIN	18.20			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N° 31: Estadística de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (°C)					
ENTRADA	VALOR MAX	20.30	18.70	0.69	0.23
	VALOR MIN	17.40			
SALIDA	VALOR MAX	20.10	18.47	0.67	
	VALOR MIN	17.30			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N° 32: Estadística de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (°C)					
ENTRADA	VALOR MAX	22.50	19.68	1.21	0.45
	VALOR MIN	17.80			
SALIDA	VALOR MAX	21.50	19.24	1.07	
	VALOR MIN	17.30			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔT° PROM

Tabla N° 33: Estadística de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

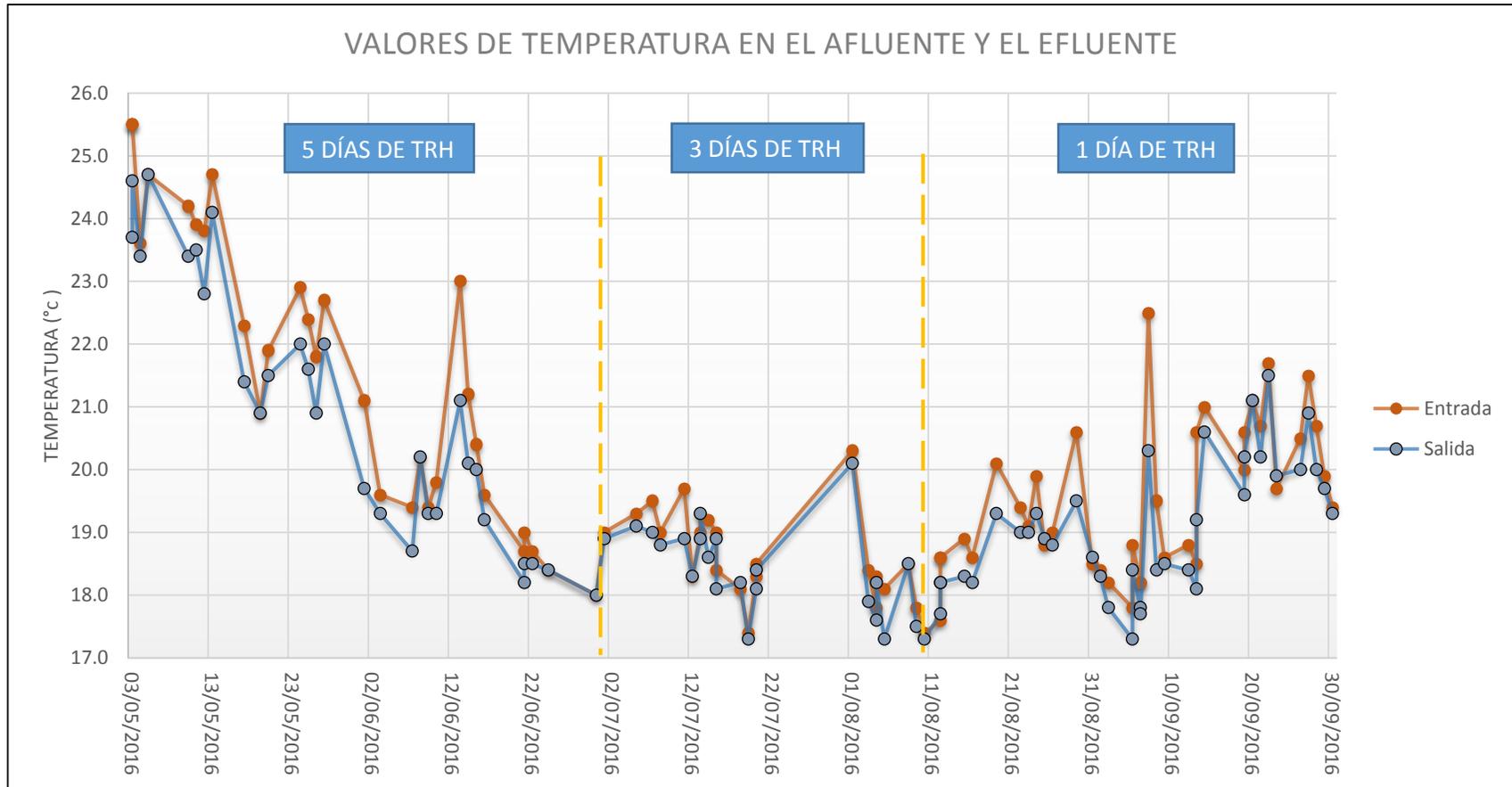


Gráfico N°47: Registro de la temperatura en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.
(Fuente propia)

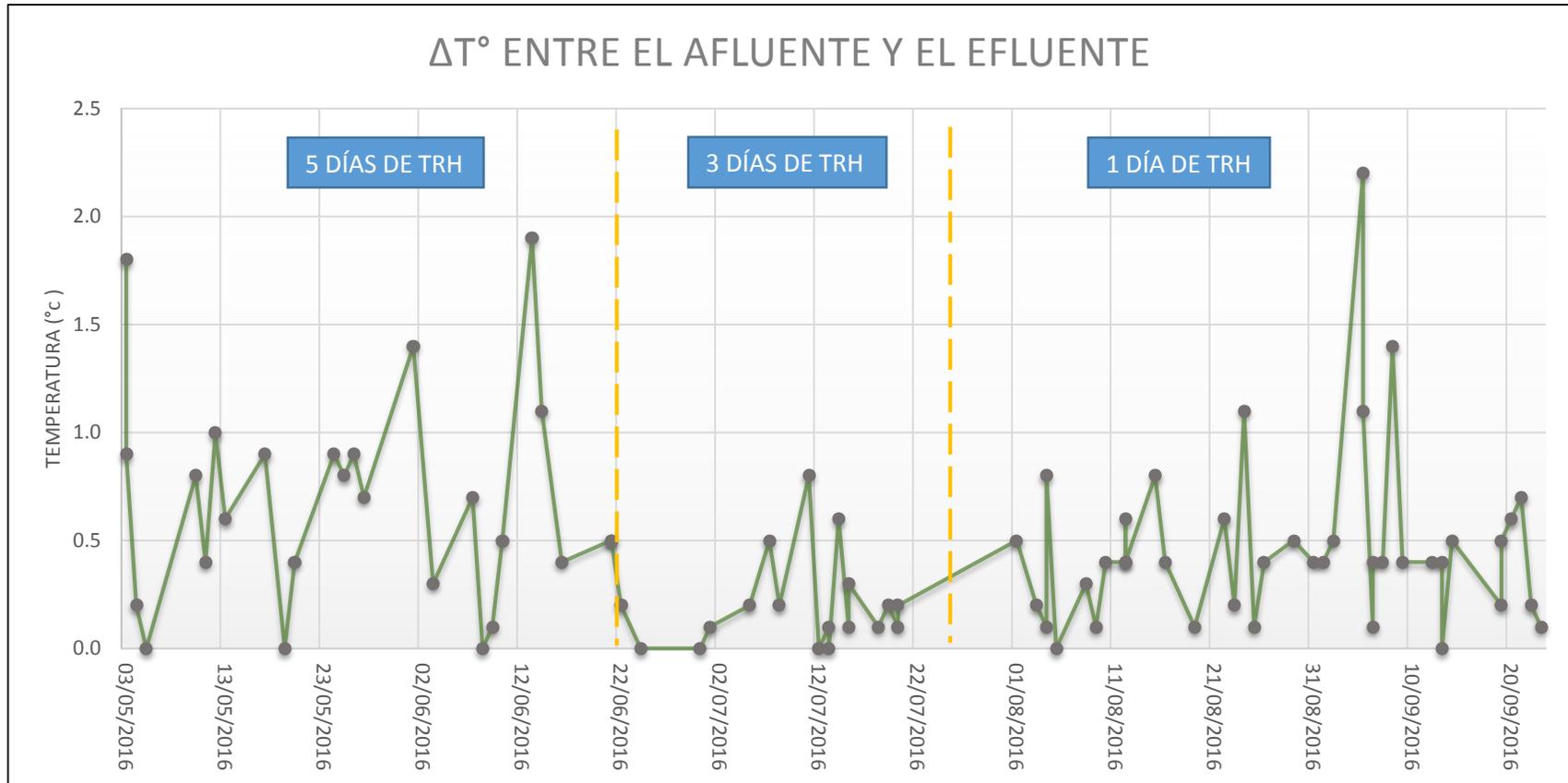


Gráfico N°48: Diferencia de la temperatura en el afluente y el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

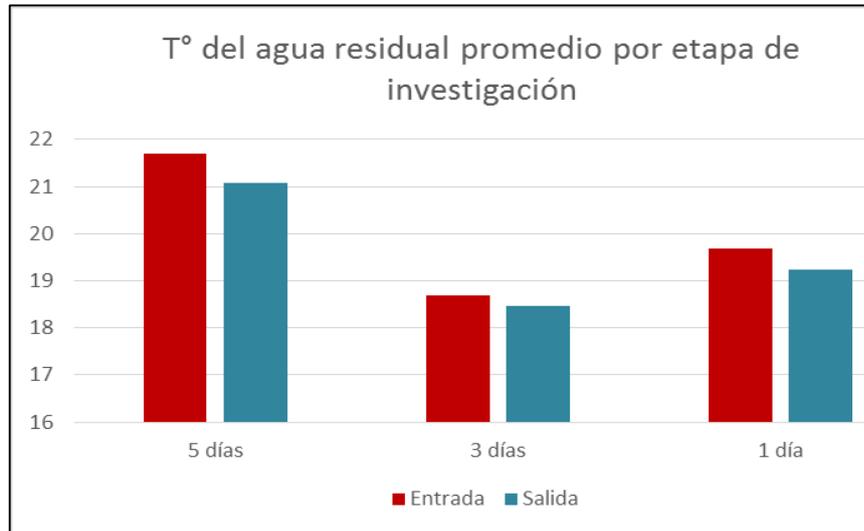


Gráfico N°49: Comparación de la temperatura en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

2.2. ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

En el Gráfico N° 47 se puede observar que la temperatura tanto en el afluente como en el efluente del sistema FMF decrece en valor durante toda la etapa de 5 días de TRH pasando estos por los meses de mayo a junio. Aunque hubo días donde hubo picos altos de temperatura, la tendencia de decrecimiento fue la misma.

En el mismo gráfico se muestra la tendencia de la temperatura en la entrada y en la salida del humedal artificial durante la etapa de evaluación de 3 días de TRH, dicho comportamiento es más estable que la etapa anterior puesto que no se observa gran variación de sus valores en el tiempo, aunque la temperatura tiene una ligera tendencia a disminuir en el tiempo.

Así mismo, durante la etapa de 1 día de TRH existe una tendencia de aumento de temperatura en el tiempo debido a que dicha etapa de investigación se desarrolló durante los últimos días de invierno y los primeros días de primavera. Cabe resaltar que la temperatura en la

entrada del sistema fue siempre mayor al de la salida, esto en las tres etapas de investigación.

En el Gráfico N° 48 se muestra los diferentes valores que se obtuvieron a partir de la diferencia de temperatura entre la entrada del sistema y la salida de la misma por cada punto de muestreo.

Cabe mencionar que dicha diferencia se acentúa a medida que la temperatura aumenta, esto es notorio en el mes de mayo y primeros días de junio donde se ubica la etapa de 5 días de TRH. Por otro lado, los valores de temperatura se hacen más cercanos entre el efluente y el afluente en la estación de invierno.

8. TURBIEDAD

3.1. RESULTADO DE LA TURBIEDAD

Respecto a la estadística del presente parámetro se tuvo que para la etapa con tiempo de retención hidráulica de 5 días el valor máximo registrado en turbiedad en el afluente fue de 110 UNT y el mínimo fue 28.7 UNT, el promedio calculado fue 51.79 UNT con una desviación estándar de 21.13 UNT.

En la salida del sistema durante la misma etapa se registró que los valores de turbiedad variaron entre 45.3 UNT y 215 UNT, siendo el promedio de todos los valores monitoreados de 86.66 UNT y la desviación estándar de 46.46 UNT. Además la turbiedad en la salida del humedal artificial fue en promedio 34.87 UNT mayor que en el efluente.

Evaluando la etapa de 3 días de TRH se obtuvo que la turbiedad máxima registrada en la entrada del sistema fue de 78.9 UNT, mientras que el mínimo fue de 22.8 UNT. El promedio calculado fue 39.34 UNT y la desviación estándar de 13.83 UNT.

En cuando a la salida del mismo periodo, el valor máximo encontrado fue de 99 UNT y el mínimo de 26.3 UNT. El valor promedio calculado fue de 37.38 UNT y la desviación estándar de 19.07 UNT. A diferencia de la etapa anterior, aquí la turbiedad en el efluente del sistema fue en promedio menor en 1.96 UNT que en el afluente.

Para finalizar, los valores de turbiedad en la entrada del sistema en la etapa de 1 día de TRH variaron en entre 24.3 °C y 172 °C, el promedio de todos los valores registrados fue de 60.53 UNT y la desviación estándar calculada fue de 27.93 UNT.

En cuanto a la salida del sistema el valor máximo registrado fue de 93 UNT, mientras que el mínimo llegó a 22.2 UNT. El valor promedio de turbiedad fue de 42.30 UNT con una desviación estándar de 14.47 UNT.

Cabe mencionar que la turbiedad en el efluente del sistema fue 20.19 UNT menor con respecto al afluente.

TURBIEDAD DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (UNT)					
ENTRADA	VALOR MIN	28.7	51.79	21.13	-34.87
	VALOR MAX	110			
SALIDA	VALOR MIN	45.3	86.66	40.46	
	VALOR MAX	215			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ TURB. PROM

Tabla N° 34: Estadística de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

TURBIEDAD DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (UNT)					
ENTRADA	VALOR MIN	22.8	39.34	13.83	1.96
	VALOR MAX	78.9			
SALIDA	VALOR MIN	26.3	37.38	19.07	
	VALOR MAX	99			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ TURB. PROM

Tabla N° 35: Estadística de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

TURBIEDAD DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (UNT)					
ENTRADA	VALOR MIN	24.3	60.53	27.93	20.19
	VALOR MAX	172			
SALIDA	VALOR MIN	22.2	42.30	14.47	
	VALOR MAX	93			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ TURB. PROM

Tabla N° 36: Estadística de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

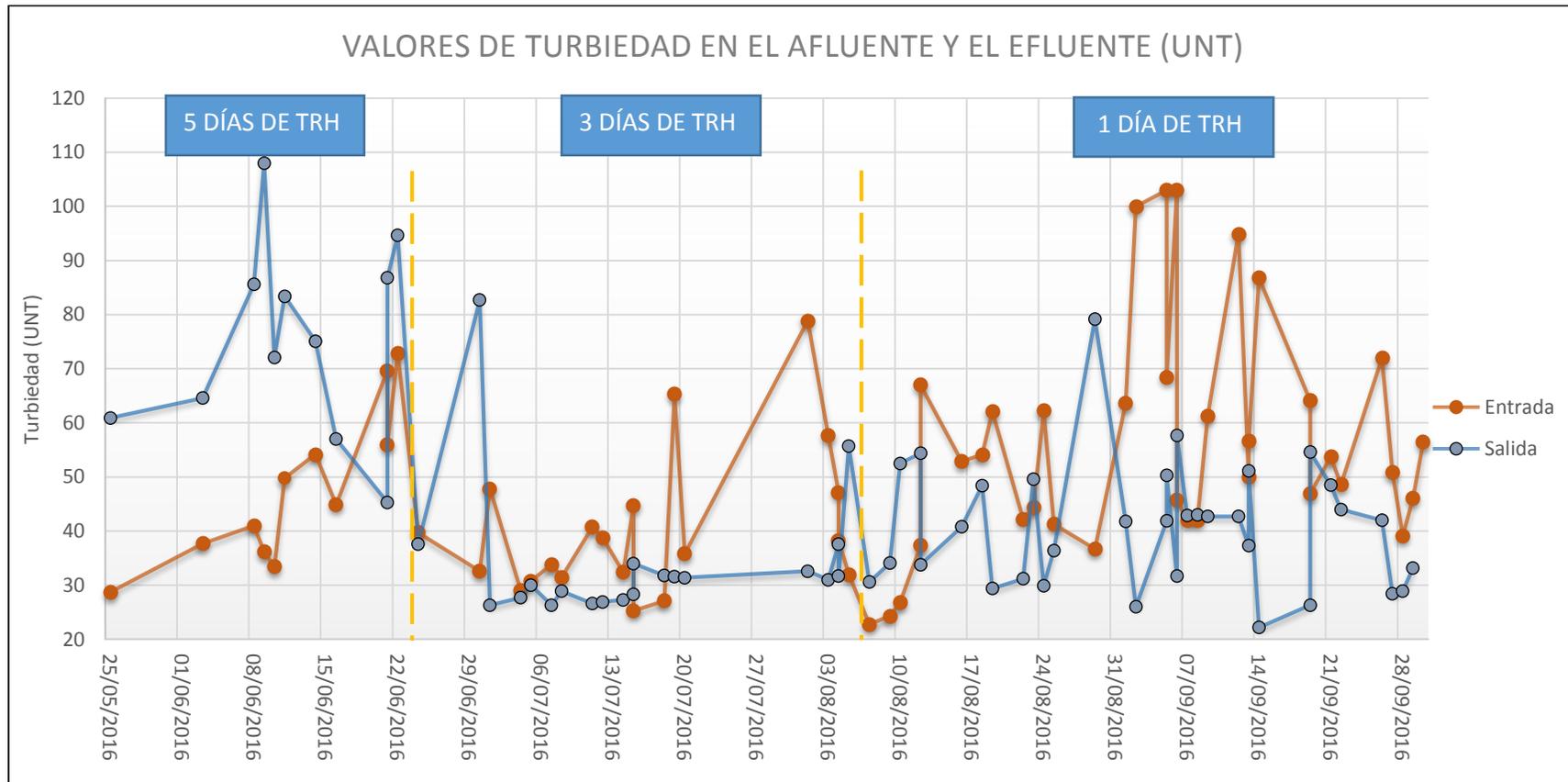


Gráfico N°50: Registro de la turbiedad en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.
(Fuente propia)

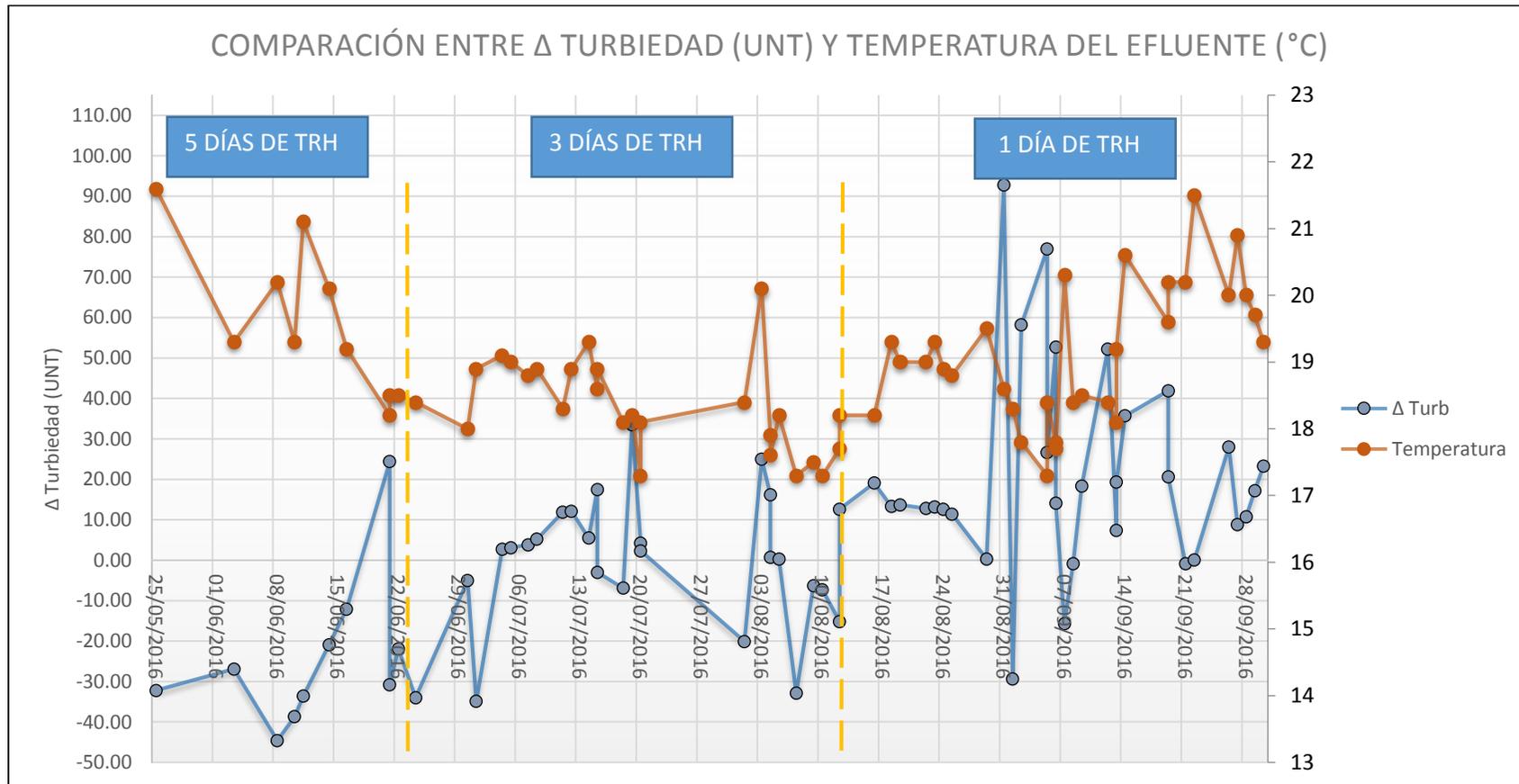


Gráfico N°51: Comparación entre la diferencia de turbiedad del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

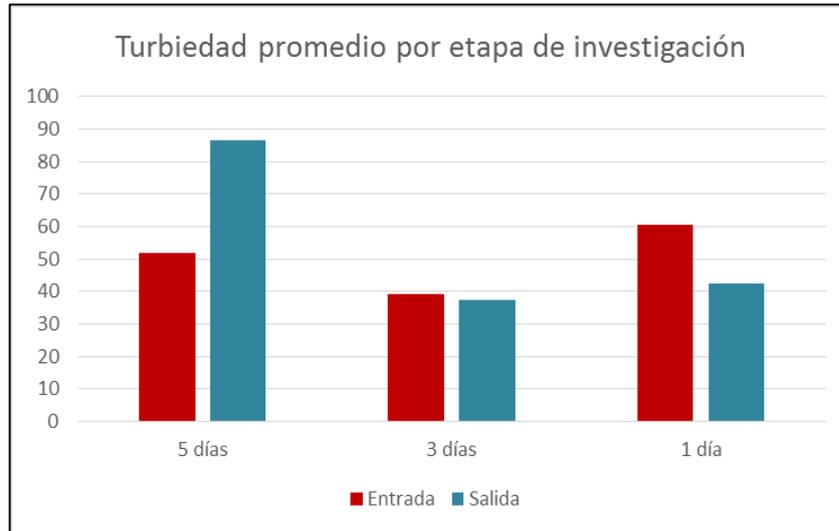


Gráfico N°52: Comparación de la turbiedad en el afluente y el efluente durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

3.2. ANÁLISIS DE LA TURBIEDAD

Durante la etapa de investigación a tiempo de retención hidráulica de 5 días mostrada en el Gráfico N° 50 se observó que la turbiedad en el efluente del sistema tomó valores altos comparados con el afluente y uno de los factores observados durante esta etapa fue que hubo mayor generación de algas, sobre todo en las zonas del estanque de menor flujo o áreas muertas como son la esquinas de la superficie líquida.

Aunque la hidráulica no es el único factor influyente debido a que también afecta la calidad del afluente y la intensidad de radiación solar de la zona, una condición importante ambiental fue que la ubicación del humedal artificial permitió que sólo esté expuesto a luz solar durante 3-4 horas por día como máximo durante toda la investigación ya que estructuras adyacentes proporcionaban sombra.

Es así que la línea graficada por los valores de turbiedad en la salida del sistema durante la etapa de 3 días de TRH muestra valores por lo general menores que la que se grafica al unir los puntos del afluente del humedal artificial.

De la misma manera, en la zona de tiempo de retención hidráulica de 1 día de la Gráfica N° 50 se observa una tendencia a aumentar los valores de turbiedad tanto de la entrada como de salida, pero con la línea de valores de entrada menor que la de salida la mayor parte del tiempo.

Cabe mencionar que también se observó algas en las muestras tomadas del efluente del reactor UASB a pesar que no deberían existir, pues esto es consecuencia del punto de bombeo. La bomba extraía agua residual en una zona del reactor UASB de poca circulación hidráulica y que estaba expuesta a luz solar (espejos de agua), propiciándose así la generación de algas que posteriormente terminaría en el tanque de almacenamiento del humedal artificial FMF.

En la Gráfica N° 51 se observa que existe una tendencia ascendente de la línea azul que representa la diferencia de turbiedad entre la entrada y la salida del sistema. También en los monitoreos de los últimos días de cada etapa de investigación los valores de turbiedad son más estables y cercanos.

La tendencia ascendente descrita en el párrafo anterior no tiene relación con el parámetro temperatura del efluente que se muestra en la misma gráfica. Pues la concentración de algas, indicado indirectamente por la turbiedad, es más afectado por los cambios en la hidráulica del sistema investigado que por factores climáticos, considerando las condiciones descritas en el presente análisis.

9. El pH

4.1. RESULTADO DEL pH

Para los resultados del pH durante la investigación a 5 días de TRH se tuvo que el valor máximo alcanzado de pH en el afluente del sistema fue de 7.40, el mínimo logró 6.68 unidades de pH. Así mismo se calculó que el valor promedio de pH en la entrada del afluente fue 7.06 con una desviación estándar de 0.19.

También se registró que los valores de pH en el efluente del sistema variaron entre 7.20 y 7.87, de donde se obtuvo que el promedio de pH en la salida fue de 7.51, siendo la desviación estándar 0.23. Además se encontró que la diferencia promedio de valores de pH entre el efluente y el afluente fue de 0.45 unidades.

Por otro lado, estudiando el comportamiento del sistema FMF a 3 días de TRH se tuvo que en la entrada el valor máximo alcanzó el valor de 7.18 y el mínimo fue de 6.64, mientras que el promedio calculado fue de 6.97 con una desviación estándar de 0.13.

Por su parte, el efluente del sistema tuvo como mínimo valor registrado a 7.08, el registro de máximo valor fue 7.40, el promedio de los valores muestreados fue de 7.27 unidades de pH siendo la desviación estándar de 0.09. Cabe mencionar que la diferencia de pH entre el efluente y el afluente fue de 0.3 unidades de pH.

Finalizando los resultados del parámetro pH, se tuvo que a TRH de 1 día se registraron valores de pH en la entrada del sistema entre 6.60 y 7.38, el promedio de los valores registrados fue de 6.86 con una desviación estándar de 0.16.

En cuanto a los resultados de la salida del sistema FMF se observó un máximo valor de pH alcanzado de 7.40, siendo el mínimo 5.95 unidades. Además el promedio calculado fue de 6.96 con una desviación estándar

de 0.22 unidades. También se calculó que el promedio de la diferencia de valores de pH entre la entrada y la salida fue de 0.10.

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH					
ENTRADA	VALOR MAX	7.40	7.06	0.19	0.45
	VALOR MIN	6.68			
SALIDA	VALOR MAX	7.87	7.51	0.23	
	VALOR MIN	7.20			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ pH° PROM

Tabla N° 37: Estadística del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH					
ENTRADA	VALOR MAX	7.18	6.97	0.13	0.30
	VALOR MIN	6.64			
SALIDA	VALOR MAX	7.40	7.27	0.09	
	VALOR MIN	7.08			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ pH° PROM

Tabla N° 38: Estadística del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍAS DE TRH					
ENTRADA	VALOR MAX	7.38	6.86	0.16	0.10
	VALOR MIN	6.60			
SALIDA	VALOR MAX	7.40	6.96	0.22	
	VALOR MIN	5.92			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ pH° PROM

Tabla N° 39: Estadística del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

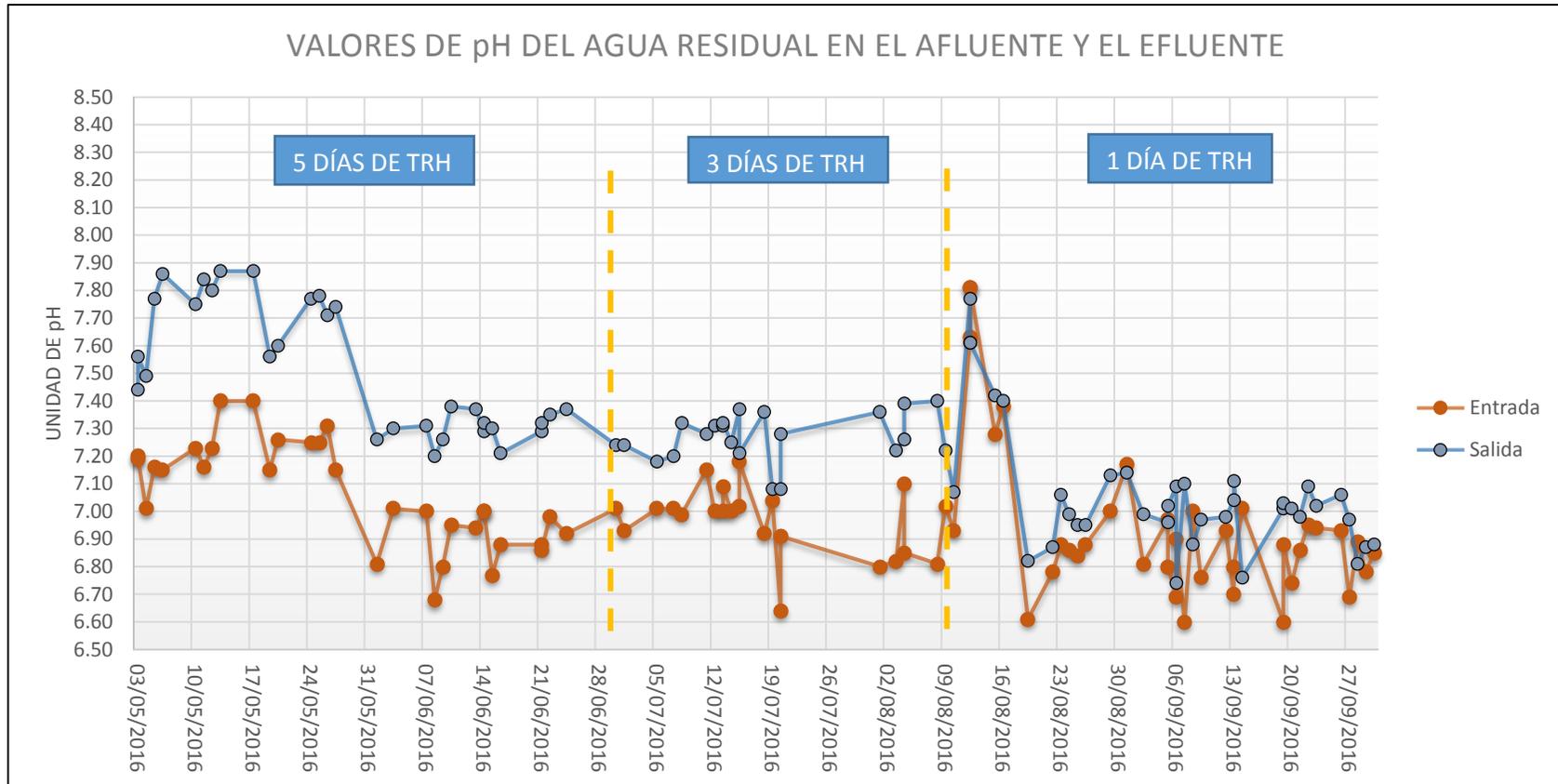


Gráfico N°53: Registro del pH en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.
(Fuente propia)

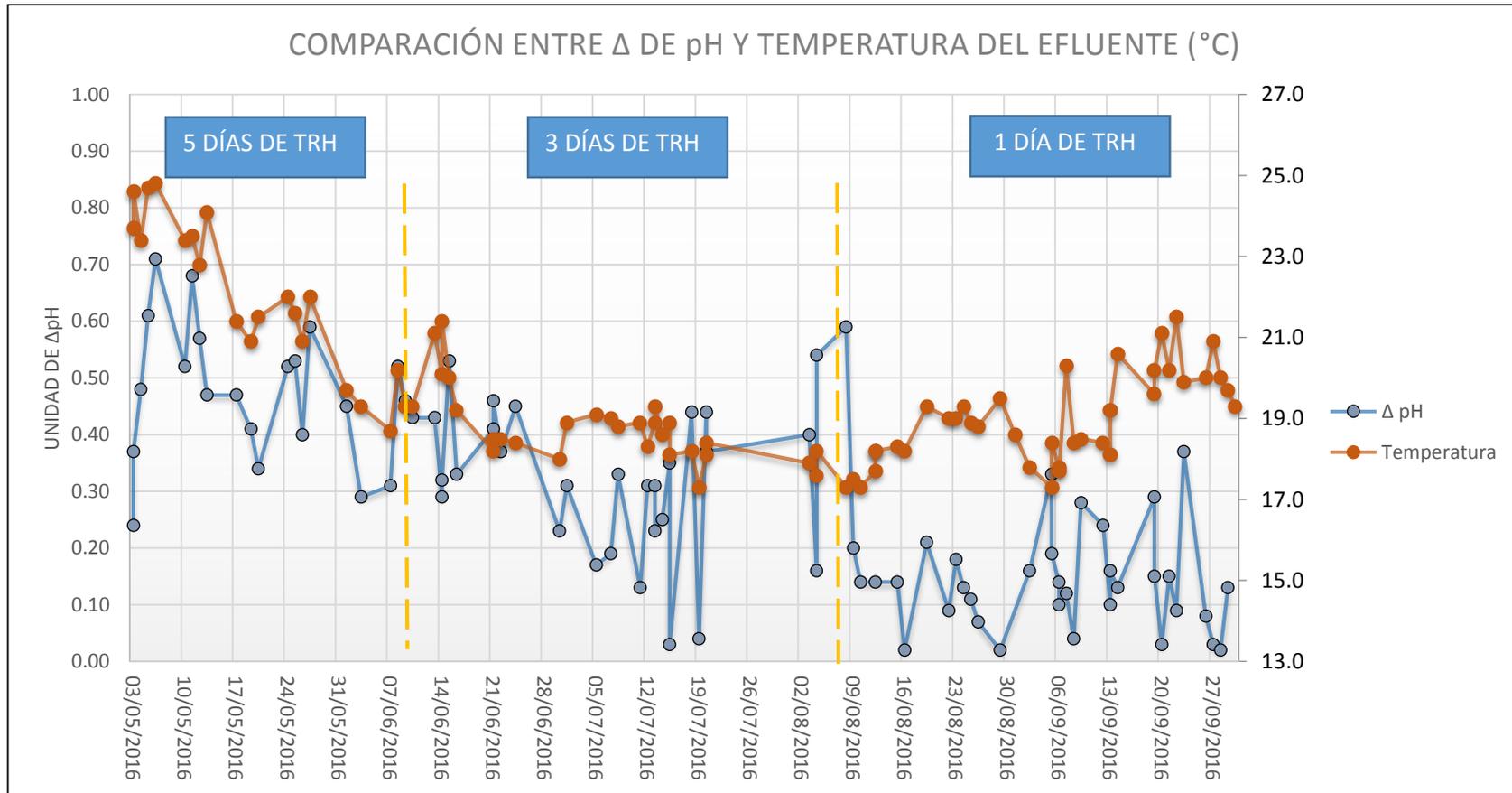


Gráfico N°54: Comparación entre la diferencia de pH del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

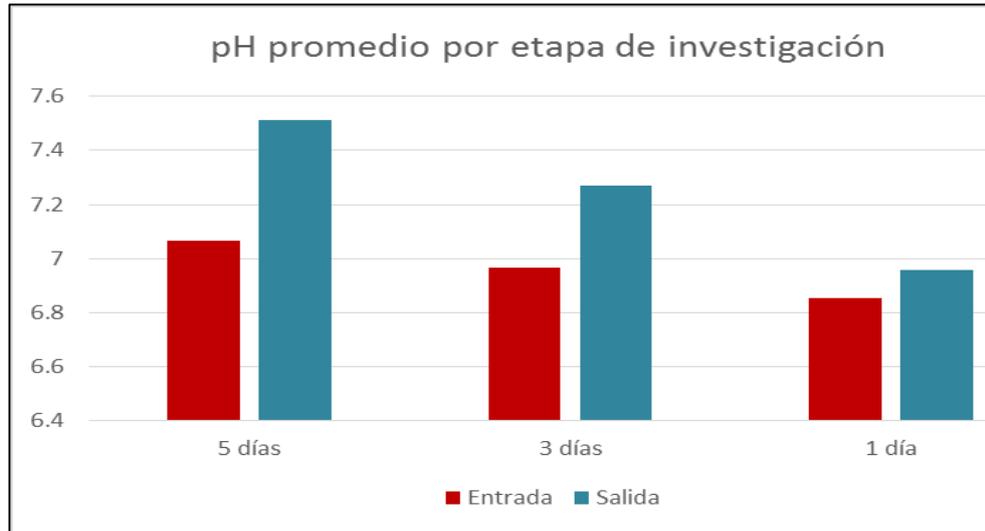


Gráfico N°55: Comparación de los valores del pH en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

4.2. ANÁLISIS DEL pH

Como se puede observar en el Gráfico N° 53 los valores de pH del afluente (proveniente de la salida del reactor UASB) tiene valores de pH generalmente menores que en la salida del reactor. Este comportamiento se basa en su mayor parte por la presencia de algas en el sistema FMF, que conforme pasa el tiempo se vuelve menor la densidad de estos microorganismos.

También se observa de manera general que existen tres caídas considerables de valores de pH sobre todo en la salida del sistema y que no tienen relación necesariamente con los cambios en la hidráulica del humedal. Es posible que este comportamiento se deba a factores externos como cambios en la calidad del afluente ya que en los primeros días de junio también se observa una caída de pH en el afluente del humedal.

Con respecto al Gráfico N° 54 donde se muestran la diferencia de pH entre el afluente y el efluente, superponiendo el comportamiento de la temperatura del efluente. En el gráfico se observa claramente la tendencia a disminuir la diferencia de valores entre la entrada y la salida con respecto disminuyo el TRH en el tiempo.

Por otro lado, la línea que representa a la temperatura (línea roja) tiene un comportamiento distinto al que tiene la diferencia de pH, corroborando así que el factor temperatura no ejerce mucha influencia con respecto al comportamiento de pH, y que mayor injerencia lo tiene el factor hidráulico.

10. CONDUCTIVIDAD Y SDT

10.1. RESULTADO DE LA CONDUCTIVIDAD Y LOS SDT

La conductividad durante el periodo de investigación de 5 días de TRH varió entre $1431 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y $1675 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ en la entrada del sistema; el valor promedio calculado fue $1525.7 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y una desviación estándar de $101.9 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$. Por su parte en la salida del humedal artificial se registró un valor mínimo de $1373 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y un máximo de $1567 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$, el promedio tuvo el valor de $1507.2 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y la desviación estándar de $166.5 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$. La diferencia promedio entre el afluente y el efluente fue $0.8 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$.

Siguiendo con la Tabla N° 40, los SDT registraron en el mismo TRH un valor de entrada de 1765 ppm como máximo, como mínimo valor registrado fue 1279 ppm; el promedio fue 1360.4 ppm y la desviación estándar de 94.3 ppm. Por otro lado en la salida se registraron valores entre 1224 ppm y 1406 ppm, el promedio calculado fue de 1338 ppm y la desviación estándar de 146.1 ppm. La entrada fue en promedio 1.2 ppm mayor que la salida del sistema.

Para un TRH de 3 días se observa en la Tabla N° 41 que los valores de conductividad la entrada del sistema varió entre $1389 - 2154 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$, el promedio calculado fue $1644.3 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y la desviación estándar de $360.7 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$. Por otro lado, en la salida del sistema se registró un valor máximo de $1629 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y un valor mínimo de $1371 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$, el promedio calculado fue $1483.2 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y la desviación estándar de $175.5 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$. La diferencia promedio entre el afluente y el efluente de $6.4 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$.

Observando la estadística de los SDT para un TRH de 3 días se tiene que la entrada registró valores entre 1243 – 1895 ppm, con un promedio de 1474.6 ppm con una desviación estándar de 318 ppm. En cuanto a la salida del sistema se registró como máximo valor a 1456 ppm y como mínimo a 1219 ppm; el promedio calculado tuvo el valor de 1304.6 ppm

y la desviación estándar fue 72.8 ppm. La entrada del sistema tuvo un valor de SDT de 8.5 ppm en promedio mayor que la salida.

Según la Tabla N° 42 se tiene que los valores de la conductividad en la entrada registraron valores entre $1065 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y $1626 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$, el promedio calculado fue $1221.3 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y la desviación estándar de $111.6 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$. En la salida del sistema se registró un valor máximo de $1591 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y un valor mínimo de $1074 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$, el promedio fue de $1234.4 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ con una desviación estándar de $109.8 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$. En este periodo el efluente fue $1.3 \mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ mayor que el afluente en promedio.

Finalizando con los sólidos disueltos totales, se tiene que en la entrada del sistema se registraron valores entre 1444 ppm y 980 ppm, el promedio hallado fue de 1087.8 ppm y la desviación estándar fue 88.9 ppm. En cuanto a la salida se tiene que los valores variaron entre 973 ppm y 1236 ppm, el promedio calculado fue 1094.1 ppm y la desviación estándar de 70 ppm. En este caso el efluente fue 0.9 ppm mayor que el efluente del humedal artificial.

CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES A 5 DÍAS DE TRH						
CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$)	ENTRADA	VALOR MAX	1675.0	1525.7	101.9	0.8
		VALOR MIN	1431.0			
	SALIDA	VALOR MAX	1567.0	1507.2	166.5	
		VALOR MIN	1373.0			
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (ppm)	ENTRADA	VALOR MAX	1765.0	1360.4	94.3	1.2
		VALOR MIN	1279.0			
	SALIDA	VALOR MAX	1406.0	1338.0	146.1	
		VALOR MIN	1224.0			
		PROM.	Σ	Δ PROM		

Tabla N° 40: Estadística de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES A 3 DÍAS DE TRH						
CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$)	ENTRADA	VALOR MAX	2145.0	1644.3	360.7	6.4
		VALOR MIN	1389.0			
	SALIDA	VALOR MAX	1629.0	1483.2	175.5	
		VALOR MIN	1371.0			
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (ppm)	ENTRADA	VALOR MAX	1895.0	1474.6	318.3	8.5
		VALOR MIN	1243.0			
	SALIDA	VALOR MAX	1456.0	1304.6	72.8	
		VALOR MIN	1219.0			
PROM.				Σ	Δ PROM	

Tabla N° 41: Estadística de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES A 1 DÍA DE TRH						
CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$)	ENTRADA	VALOR MAX	1626.0	1221.3	111.6	-1.3
		VALOR MIN	1065.0			
	SALIDA	VALOR MAX	1591.0	1234.4	109.8	
		VALOR MIN	1074.0			
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (ppm)	ENTRADA	VALOR MAX	1444.0	1087.8	88.9	-0.9
		VALOR MIN	980.0			
	SALIDA	VALOR MAX	1236.0	1094.1	70.0	
		VALOR MIN	973.0			
PROM.				Σ	Δ PROM	

Tabla N° 42: Estadística de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

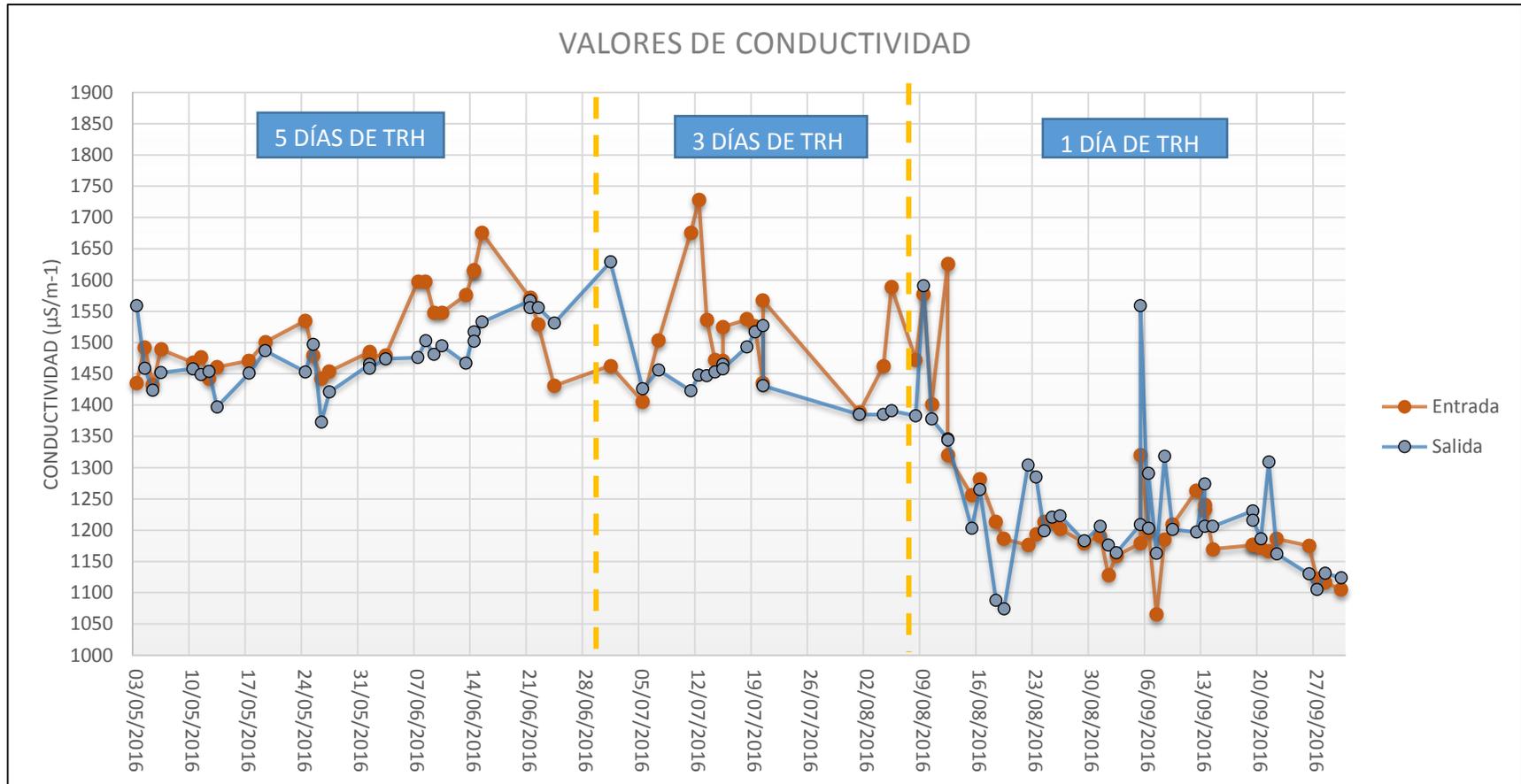


Gráfico N°56: Registro de la conductividad en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

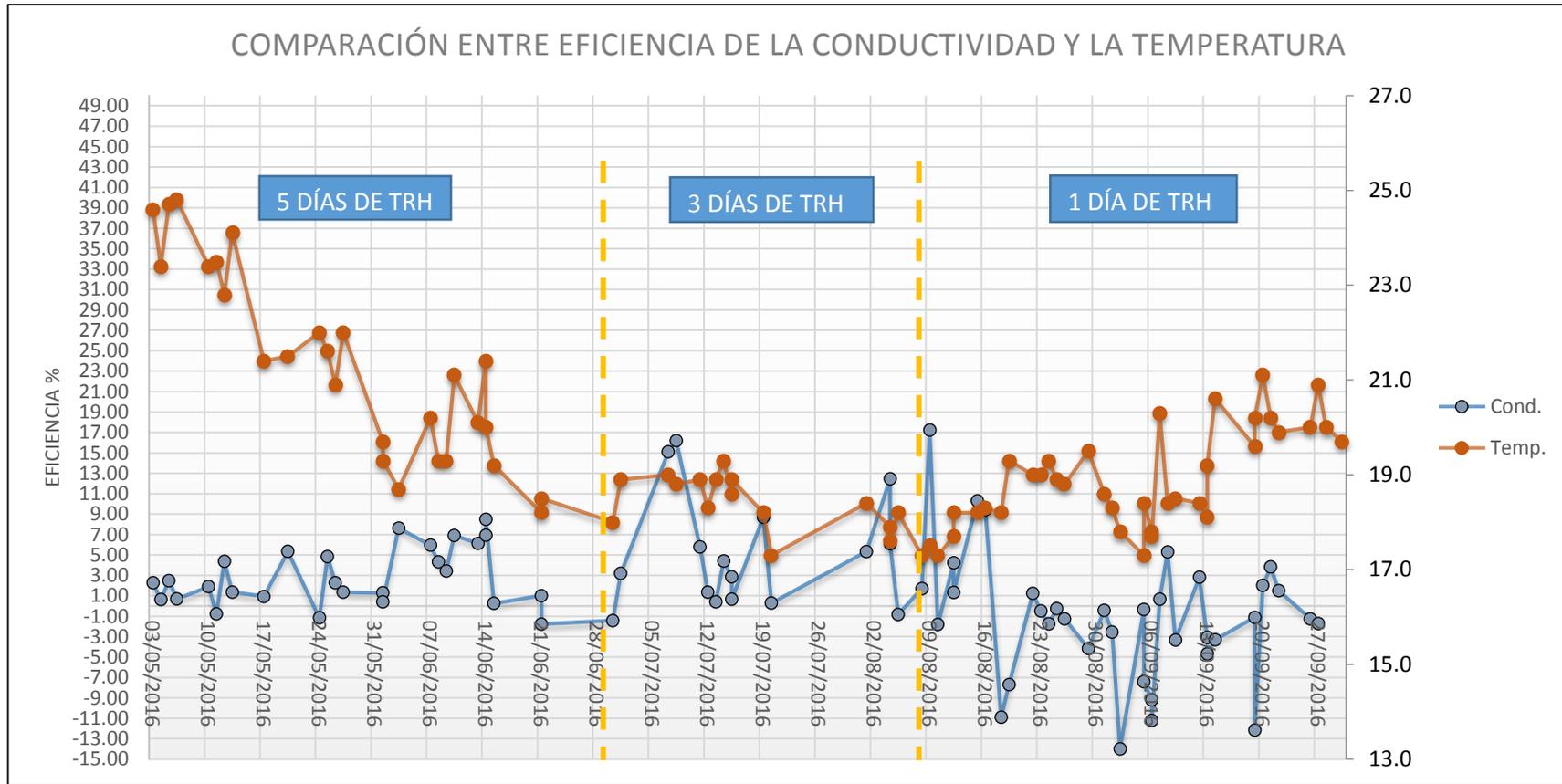


Gráfico N°57: Comparación entre la diferencia de conductividad del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

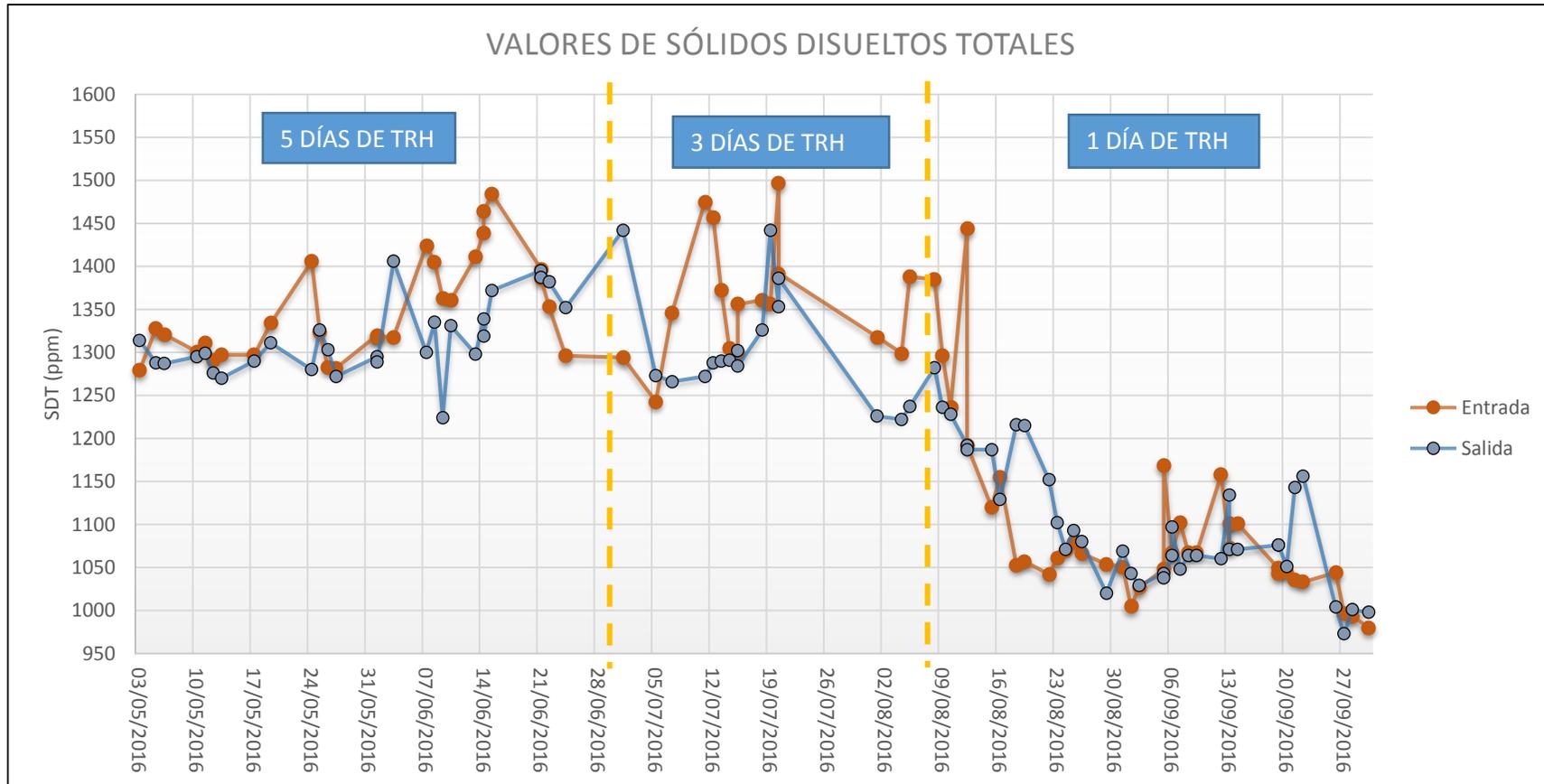


Gráfico N°58: Registro de los SDT el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días.
(Fuente propia)

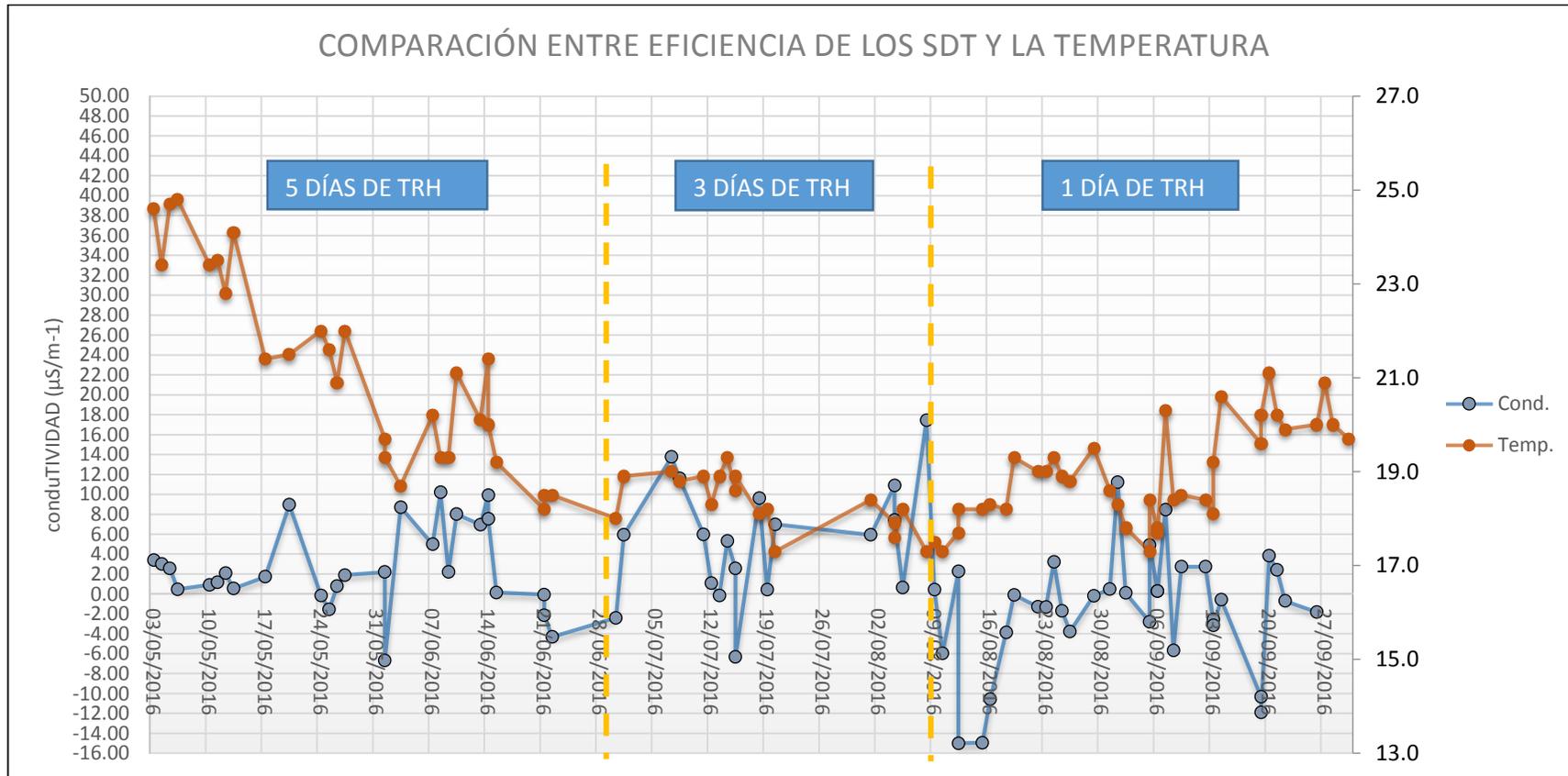


Gráfico N°59: Comparación entre la diferencia de los SDT del efluente y afluente del sistema, y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

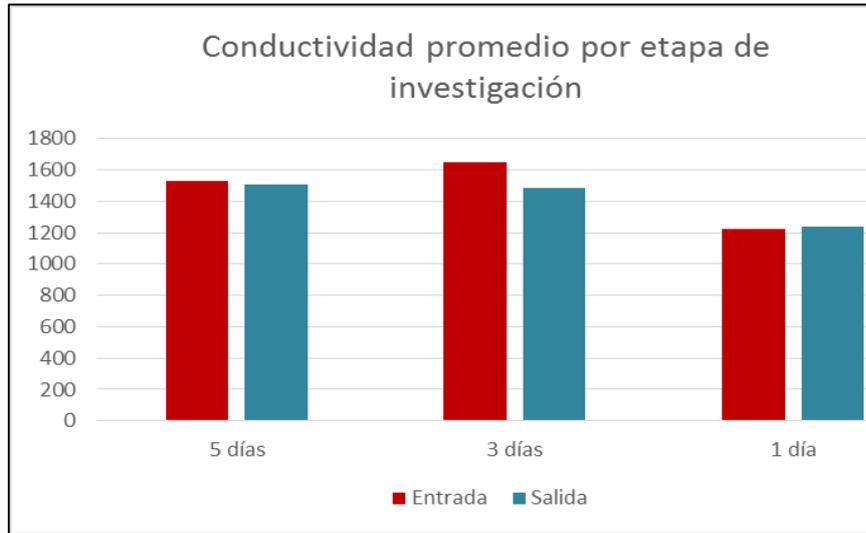


Gráfico N°60: Comparación de la conductividad en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

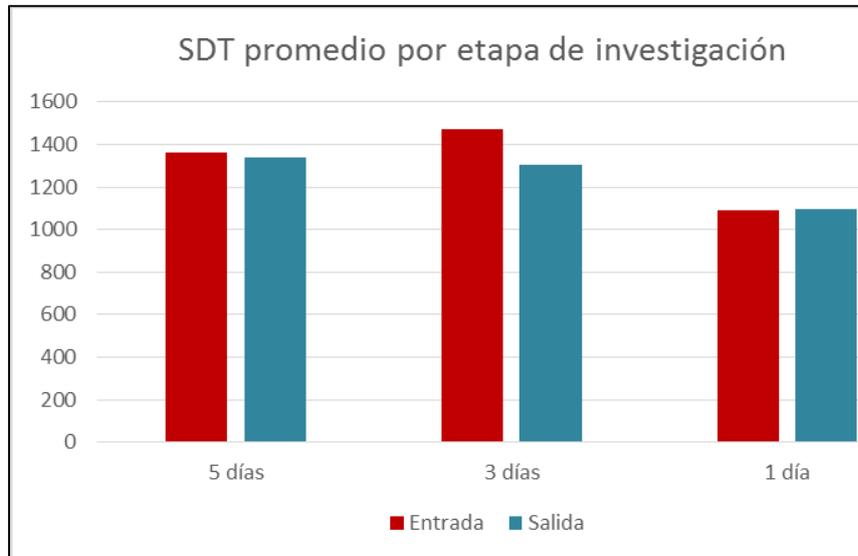


Gráfico N°61: Comparación de los SDT el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

5.2. ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD Y LOS SDT

En el Gráfico N° 56 se muestra el comportamiento de la conductividad del afluente y el efluente en los diferentes tiempos de retención hidráulica evaluados en la investigación, es así que se puede observar que existe una tendencia de disminuir los valores de este parámetro en los dos primeros periodos, mientras que en el último tramo de la investigación los valores de conductividad del efluente son levemente mayores que los del afluente.

También se puede comparar, en el Gráfico N° 57, la temperatura en el efluente del humedal artificial con la diferencia de valores de remoción en cuanto a la conductividad. En este gráfico se muestra que el comportamiento de la temperatura es muy distinta a la que tiene la conductividad. Pues la remoción de conductividad fue más estable durante el TRH de 5 días y durante la etapa de 1 día de TRH el humedal fue contraproducente debido a que los valores aumentaron en lugar de disminuir.

Analizando el Gráfico N° 58 se observa que el comportamiento de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) tanto en el efluente como en el afluente son similares y no se observa una diferencia significativa como en el caso de la conductividad, aunque cabe resaltar que la medición de los SDT y la Conductividad en esta sección fueron hallados con un equipo multiparámetro que determina los SDT indirectamente a partir de la Conductividad en el agua residual.

Siguiendo con el análisis de los SDT, en el Gráfico N° 59 se muestra que la temperatura tampoco tiene mayor influencia sobre el comportamiento de los Sólidos Disuelto Totales, además la tendencia a disminuir los valores de remoción conforme el tiempo de retención hidráulica aumenta no es visible en este parámetro. En la sección 9 del presente capítulo se analizarán los valores de SDT obtenidos con el Método Estándar en laboratorio.

11. SÓLIDOS TOTALES (ST)

6.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS TOTALES

En la Tabla N° 43 se puede observar que la concentración máxima de sólidos totales (ST) en la entrada del sistema durante la etapa de 5 días de TRH fue de 868 ppm, mientras que a mínima fue 612 ppm, el promedio calculado para la zona de entrada fue de 710 ppm y una desviación estándar de 108.07 ppm.

Se tiene también que en la salida del sistema para el mismo TRH los valores variaron entre 652 ppm y 740 ppm, siendo el promedio calculado 702.67 ppm y la desviación estándar de 28.47 ppm.

Observando la Tabla N° 44 que nos muestra la estadística de ST a 5 días de TRH. El punto de muestreo de la entrada reportó valores entre 556 ppm y 668 ppm. El valor promedio de entrada fue 594 ppm y la desviación estándar de 57.34 ppm. El efluente tuvo como valor mínimo a 516 ppm y valor máximo 672 ppm, siendo el promedio calculado de 583 ppm y la desviación estándar de 53.87 ppm.

Finalmente se tiene que para el TRH de 1 día, según la Tabla N° 45, los ST en el afluente variaron entre 540 ppm y 756 ppm, calculando que el promedio es de 636.67 ppm y la desviación estándar de 82.46 ppm. Además que en el afluente el valor máximo alcanzado es de 656 ppm y el mínimo 512 ppm.

El valor promedio hallado fue de 588 ppm y la desviación estándar fue 64 ppm. Además se calculó que el efluente tiene 7.11 ppm de ST que el afluente y fue el valor más alto calculado.

SOLIDOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	612.00	710.00	108.07	-0.60
	VALOR MAX	868.00			
SALIDA	VALOR MIN	652.00	702.67	28.47	
	VALOR MAX	740.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	%ST. PROM

Tabla N° 43: Estadística de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	556.00	594.00	57.34	1.41
	VALOR MAX	668.00			
SALIDA	VALOR MIN	516.00	583.33	53.87	
	VALOR MAX	672.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	%ST. PROM

Tabla N° 44: Estadística de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	540.00	636.67	82.46	7.11
	VALOR MAX	756.00			
SALIDA	VALOR MIN	512.00	588.00	64.00	
	VALOR MAX	656.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	%ST. PROM

Tabla N° 45: Estadística de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

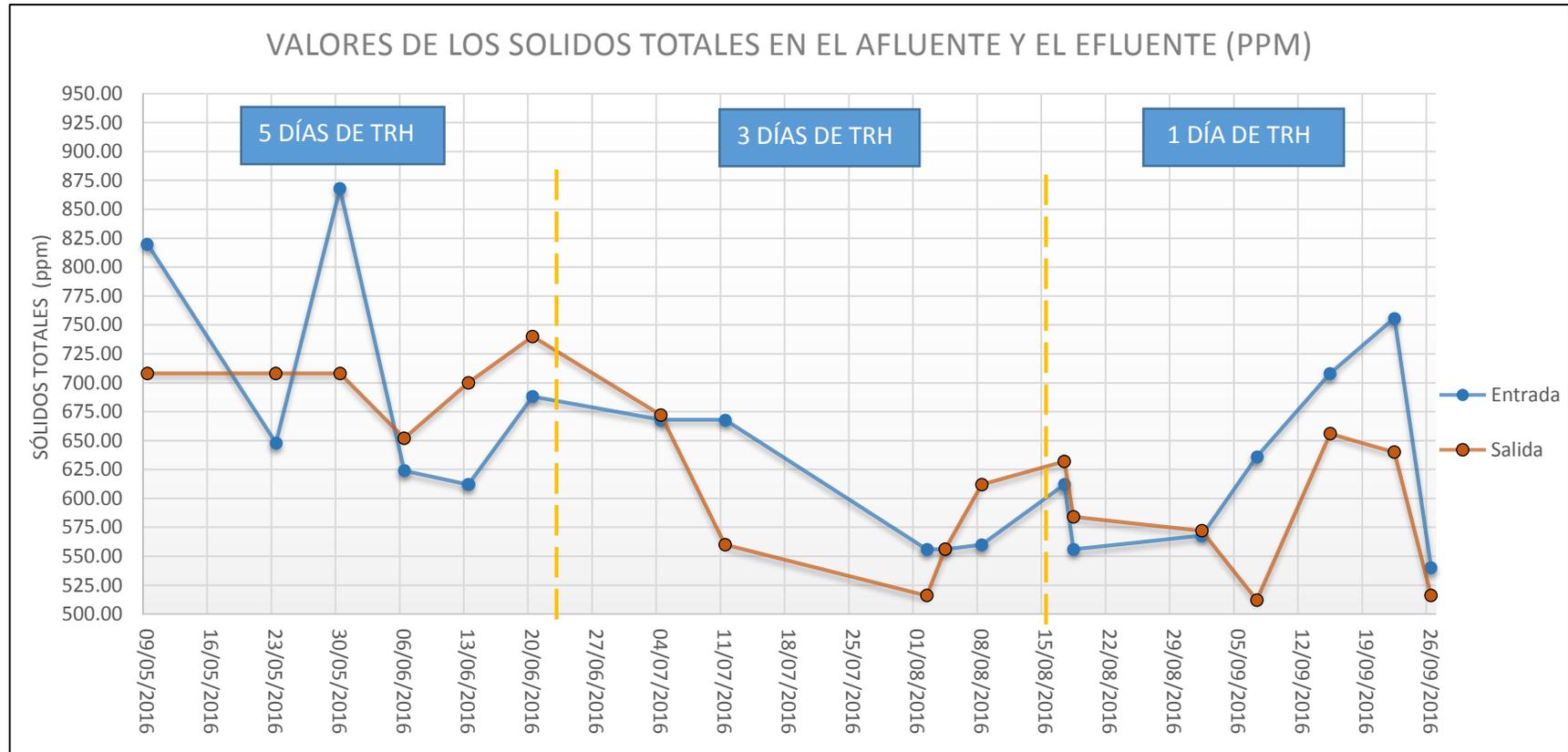


Gráfico N°62: Registro de los sólidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

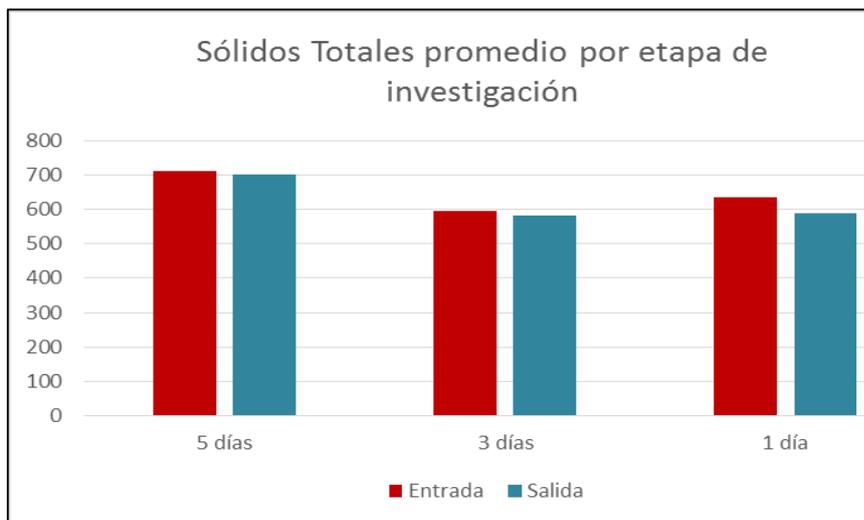


Gráfico N°63: Comparación de los sólidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

6.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS TOTALES

En el Gráfico N° 62 se observa que los sólidos totales en el afluente son muy variables en el tiempo y los valores no tienen regularidad o tendencia en el tiempo. Incluso en el tiempo de retención hidráulica de 5 días, donde la generación de algas es alta se observa que los valores son similares a los encontrados en el tiempo de retención de hidráulica de 1 día.

De la misma forma, la línea formada por los valores de sólidos totales en el efluente no tiene una regularidad en el tiempo ni se ve afectada por el cambio en el tiempo de retención hidráulico.

También en los tres periodos estudiados existen valores de sólidos totales del efluente donde superan a los del afluente haciendo difícil poder tener un análisis concreto sobre la tendencia de este parámetro en el humedal artificial. A pesar de lo mencionado los valores tanto de la entrada como de la salida tienen un comportamiento similar en cuanto a incrementos y decrementos en el tiempo de los valores del parámetro es estudiado.

12. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

7.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los datos que se muestran en la estadística de los SST a 5 días de TRH (Tabla N° 46) se observa que se registró en el afluente un mínimo valor de 4 ppm y como valor máximo 428 ppm, el valor promedio fue de 136.67 ppm y la desviación estándar de 154.54 ppm.

Por el contrario, en efluente los valores están entre 28 ppm y 184 ppm, el promedio de los valores es 81.33 ppm y la desviación estándar es 54.7 ppm. También se tiene que la eficiencia promedio fue 9.81%.

En la Tabla N° 47, el TRH de 3 días que se tuvo en la entrada votó que los valores de SST variaron entre 4 y 396 ppm, el promedio calculado fue 96 ppm la desviación estándar de 148 ppm.

También se encontró en el efluente un valor mínimo de 24 ppm y como máximo un valor de 324 ppm, determinando un promedio de 82 ppm y una desviación estándar de 118.8, siendo la eficiencia -0.98 que resulta ser negativa.

Finalmente se tiene que en la Tabla N° 48 los valores registrados de SST en la entrada variaron entre 184 ppm y 444 ppm. El promedio fue de 282 ppm y la desviación estándar 87.30 ppm. El efluente varió sus valores entre 136 ppm y 348 ppm, con un promedio de 230 ppm y una desviación estándar de 85.9 ppm. La eficiencia promedio fue 18.80%.

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	4.00	136.67	154.54	9.81
	VALOR MAX	428.00			
SALIDA	VALOR MIN	28.00	81.33	54.69	
	VALOR MAX	184.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA

Tabla N° 46: Estadística de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	4.00	96.00	148.98	-0.98
	VALOR MAX	396.00			
SALIDA	VALOR MIN	24.00	82.00	118.81	
	VALOR MAX	324.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA

Tabla N° 47: Estadística de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	184.00	282.00	87.30	18.80
	VALOR MAX	444.00			
SALIDA	VALOR MIN	136.00	230.00	85.97	
	VALOR MAX	348.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	EFICIENCIA

Tabla N° 48: Estadística de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

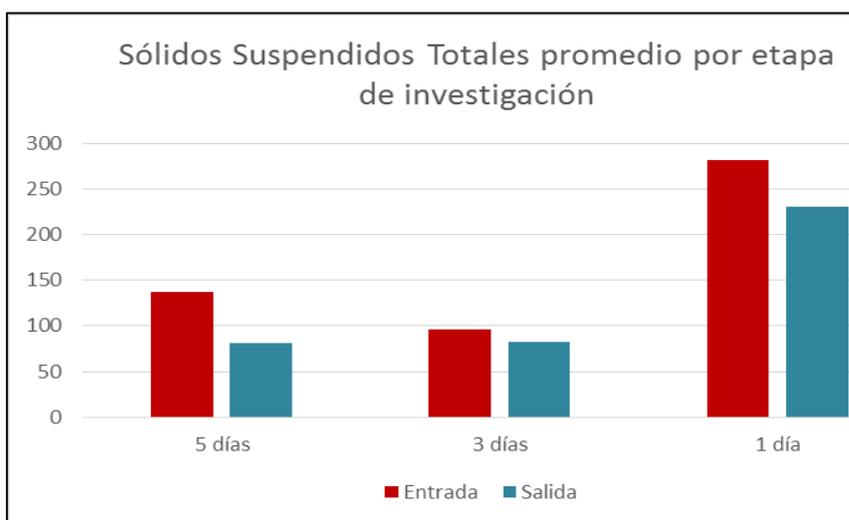


Gráfico N°64: Comparación de los sólidos suspendidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

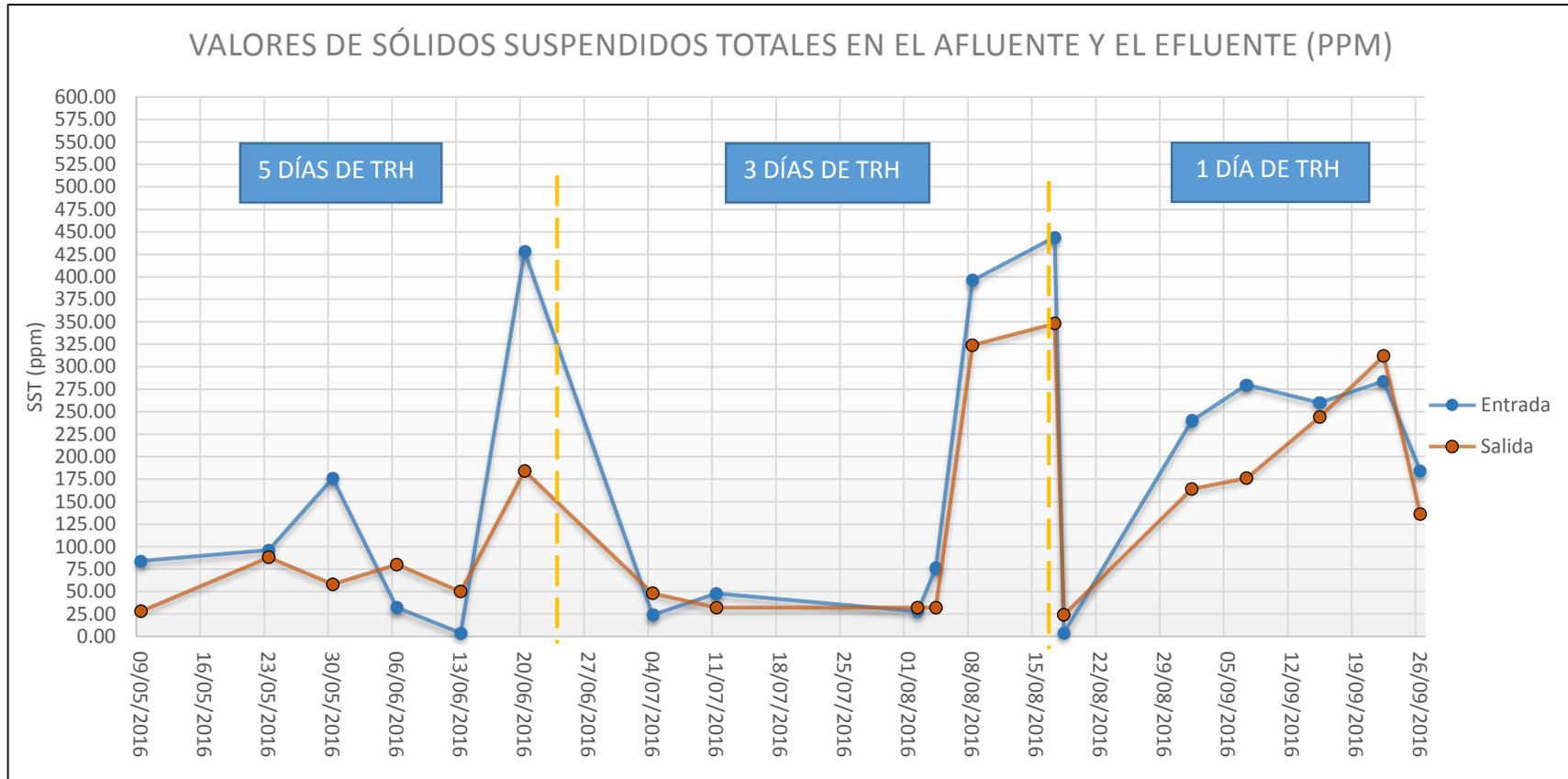


Gráfico N°65: Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

7.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Según el Gráfico N° 65, durante todo el periodo de investigación se observa que la remoción de sólidos suspendidos totales es mayor en la última etapa investigada. Es en esta etapa en que la generación de algas, que aportaba a los sólidos suspendidos totales, era menor aunque también influyen en los resultados diversos factores ambientales y condiciones del afluente.

Respecto a la línea formada por los valores de SST en el afluente, estos no siguen alguna tendencia en ninguno de los periodos investigados, también se observan picos de concentración.

Es importante mencionar que la calidad del efluente del reactor UASB no era constante, además que el mismo almacenamiento que se tenía en la investigación influía en los resultados por motivos de limpieza o la no homogenización del agua residual almacenada.

Por su parte, los valores de concentración de los sólidos suspendidos totales el efluente del humedal artificial tampoco forman una línea de la cual se pueda sacar análisis o indicadores de fin o término del periodo de investigación ni de aumentos o disminución de la eficiencia del presente parámetro.

13. SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)

8.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS VOLÁTILES

Según la Tabla N° 49 sobre la estadística de los resultados de sólidos volátiles totales a TRH de 5 días, se muestra que se tuvo un máximo de 384 ppm y un valor mínimo de 36 ppm en el afluente del sistema. También que el promedio calculado fue de 205.33 ppm y la desviación estándar fue de 115.76 ppm.

También se observa que en la entrada del sistema el valor mínimo fue de 90 ppm y el máximo fue 272 ppm. Donde el promedio calculado fue 198.33 ppm y la desviación estándar fue de 64.35 ppm. Además se tiene que en promedio los sólidos volátiles totales fue 23.17 ppm mayor en el efluente que en el afluente.

Además se tiene que para un TRH de 3 días, según la Tabla N° 50, los valores variaron entre 16 ppm y 456 ppm para el afluente. Siento el promedio hallado 199.33 ppm y la desviación estándar de 170.77 ppm.

Para el efluente se tuvo que los valores variaron entre 76 ppm y 436 ppm, siendo el promedio 234.67 ppm y la desviación estándar de 121.97 ppm. También se calculó que en promedio el efluente tuvo 1.58 ppm más sólidos volátiles totales que el afluente.

Finalmente, en la Tabla N° 51 se tiene que a un TRH de 1 día el afluente varió entre 32 ppm y 108 ppm, siendo el promedio 56 ppm y la desviación estándar de 27.60 ppm.

Por otro lado, los sólidos volátiles en efluente variaron entre 16 ppm y 56 ppm. El promedio calculado fue 33.33 ppm y la desviación estándar de 13.54 ppm. En este caso el afluente fue 37.40 ppm mayor que el efluente en promedio.

SOLIDOS VOLÁTILES TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	36.00	205.33	115.76	-23.17
	VALOR MAX	384.00			
SALIDA	VALOR MIN	90.00	198.33	64.35	
	VALOR MAX	272.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔSVT. PROM

Tabla N° 49: Estadística de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS VOLÁTILES TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	16.00	199.33	170.77	-1.58
	VALOR MAX	456.00			
SALIDA	VALOR MIN	76.00	234.67	121.97	
	VALOR MAX	436.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔSVT. PROM

Tabla N° 50: Estadística de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS VOLÁTILES TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	32.00	56.00	27.60	37.40
	VALOR MAX	108.00			
SALIDA	VALOR MIN	16.00	33.33	13.54	
	VALOR MAX	56.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	ΔSVT. PROM

Tabla N°51: Estadística de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

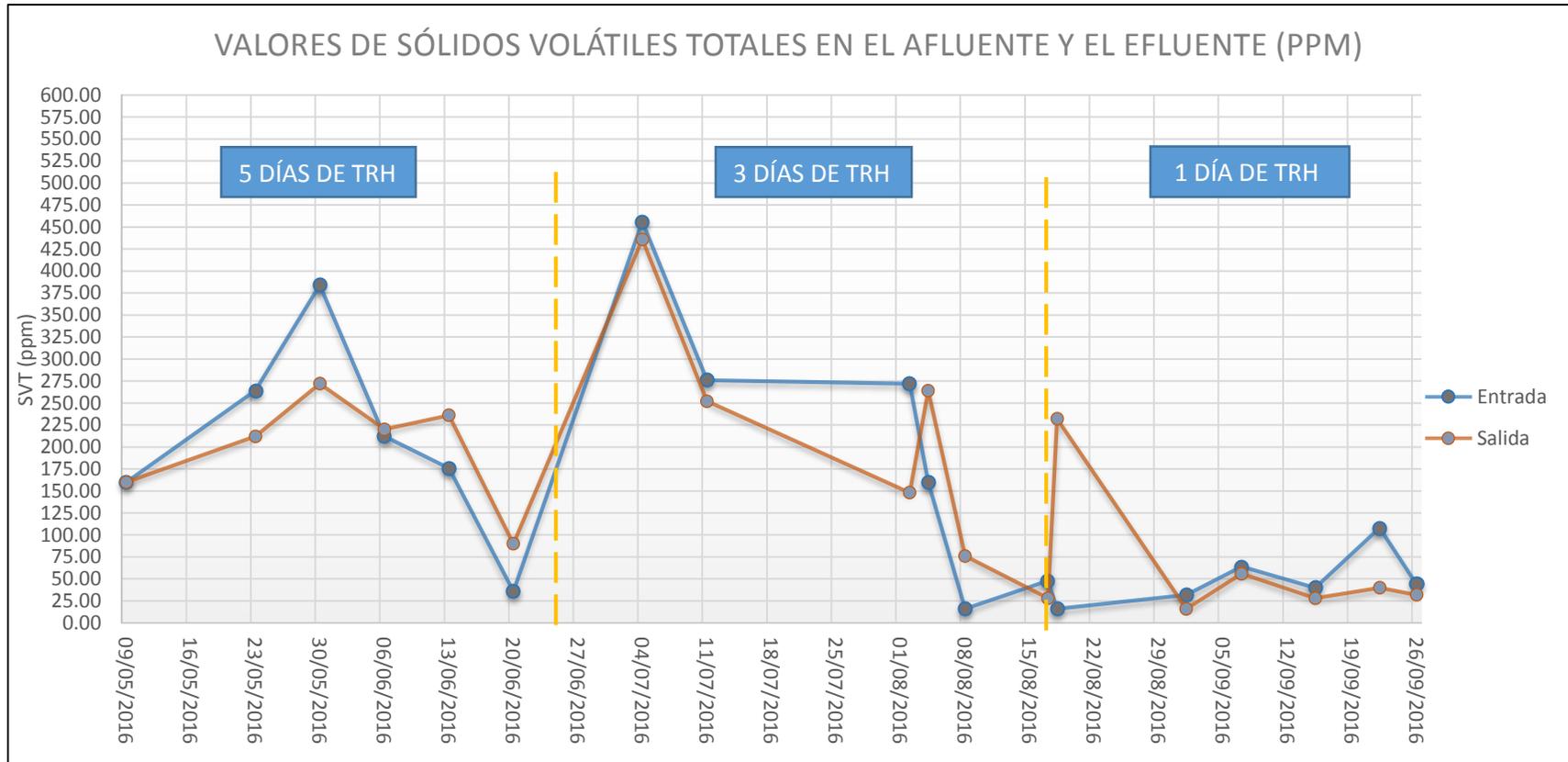


Gráfico N°66: Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

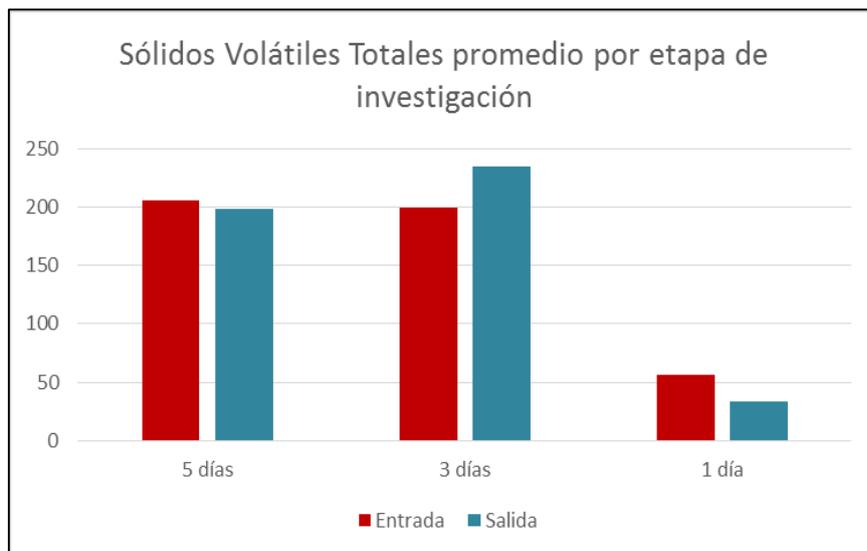


Gráfico N°67: Comparación de los sólidos volátiles totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

8.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS VOLÁLITES

Se puede observar en el Gráfico N° 66 que para el TRH de 5 días no existe una remoción definitiva ya que la línea azul (afluente) no está permanentemente encima de la azul (efluente), siendo la concentración de los sólidos volátiles en el efluente a veces mayor.

El comportamiento de los datos registrados tiene un comportamiento similar para el tiempo de retención hidráulica de 3 días. Aunque en esta etapa las líneas van acercándose más, confirmándolo con los datos descritos en la Tabla N° 50.

En el Gráfico N° 66 se muestra una mayor remoción en el tiempo para el tiempo de retención hidráulica de 1 día. Pues en los cinco últimos registros a partir del 29 de agosto del 2016 la línea roja (salida), es menor que la que representa a la entrada del humedal artificial (azul).

Es así que, según lo mostrado en con este parámetro, a medida que se va aumentando el tiempo de retención hidráulica del sistema se va aumentando la remoción de los sólidos volátiles.

Aunque cabe resaltar que también la concentración de los sólidos volátiles totales, tanto de entrada como de la salida del humedal artificial a TRH de 3 y 5 días son mayores que los registrados a TRH de 1 día, pudiendo la concentración también afectar a la eficiencia del sistema.

14. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

9.1. RESULTADO DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Según la Tabla N° 52 sobre la estadística del registro de los sólidos disueltos totales, se tiene que para el afluente a un TRH de 5 días el valor mínimo alcanzado fue de 552 ppm, el máximo fue de 736 ppm, el promedio calculado fue de 638 ppm y la desviación estándar de 68 ppm.

En efluente se registró un valor mínimo de 620 ppm y un máximo de 680 ppm, siendo el promedio 650 ppm y la desviación estándar de 18.97 ppm, además que el efluente fue 2.51 ppm mayor que el afluente.

Por otro lado, tenemos a la Tabla N° 53 donde se muestra que a TRH de 3 días el afluente registra valores entre 480 ppm y 644 ppm, donde el promedio es 561.33 ppm y la desviación estándar de 60.65 ppm,

La estadística para el efluente registra valores entre 484 ppm y 624 ppm, donde el promedio de dicho rango de valores es 542.67 ppm y la desviación estándar de 46.83 ppm. Además se muestra que el afluente resulta ser en promedio 2.86 ppm mayor que el afluente.

Analizando para un TRH de 1 día, según la Tabla N° 54, el afluente registra valores entre 496 ppm y 668 ppm, siendo el promedio 580 ppm y la desviación estándar 65.84 ppm.

Para el caso del efluente, los valores que tomó el parámetro estudiado variaron entre 456 ppm 628 ppm, con un promedio de 554.67 ppm y una desviación estándar de 70.14 ppm, además el efluente en promedio fue 4.21 ppm menor que el afluente.

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	552.00	638.67	68.01	-2.51
	VALOR MAX	736.00			
SALIDA	VALOR MIN	620.00	650.00	18.97	
	VALOR MAX	680.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ SDT. PROM

Tabla N°52: Estadística de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	480.00	561.33	60.65	2.86
	VALOR MAX	644.00			
SALIDA	VALOR MIN	484.00	542.67	46.83	
	VALOR MAX	624.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ SDT. PROM

Tabla N°53: Estadística de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	496.00	580.67	65.84	4.21
	VALOR MAX	668.00			
SALIDA	VALOR MIN	456.00	554.67	70.14	
	VALOR MAX	628.00			
			PROMEDIO	DESV. EST.	Δ SDT. PROM

Tabla N°54: Estadística de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

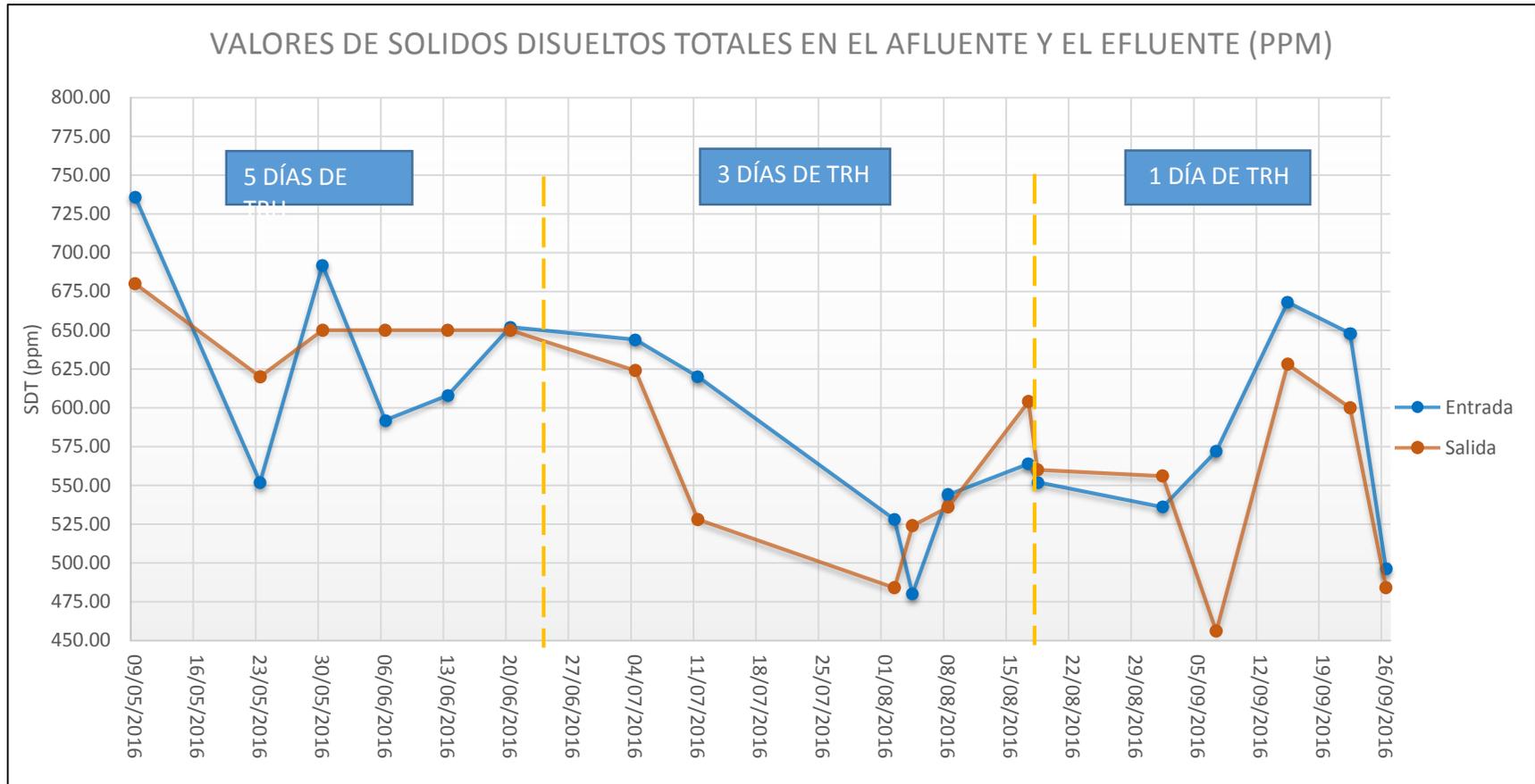


Gráfico N°68: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

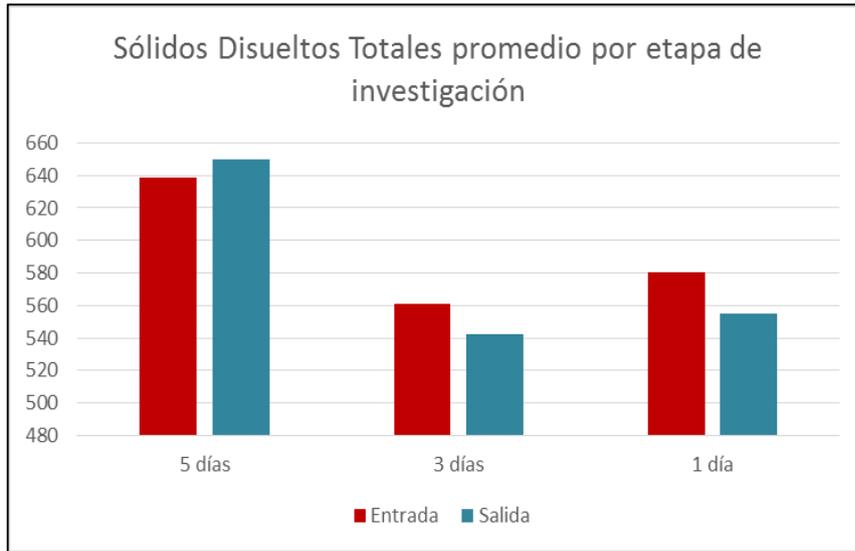


Gráfico N°69: Comparación de los sólidos disueltos totales en el afluente y el efluente del sistema durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

9.2. ANÁLISIS DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

En el Gráfico N° 68 se observan los datos registrados durante las tres etapas de investigación, tanto del afluente como del efluente, pues es notorio que durante la etapa a 5 días de TRH no hay un comportamiento definido en el afluente ya que existe mucha variación en los valores que toma el parámetro y no permite tener una remoción estable.

Por su parte, en la etapa de 3 días de TRH los valores tanto del afluente como del efluente van mostrando una mejor tendencia con menos variabilidad en sus valores.

En ambos puntos de muestreos las concentraciones de sólidos disueltos totales disminuye con respecto a la etapa de investigación de 5 días de tiempo de retención hidráulica. Finalmente, en la zona del gráfico correspondiente a la etapa de 1 día de TRH los valores de SDT en el afluente son mayores a los del efluente, exceptuando a las concentraciones registradas en los 2 primeros monitoreos.

15. OXÍGENO DISUELTO (OD)

15.1. RESULTADOS DEL OXÍGENO DISUELTO

Según la Tabla N° 55, el oxígeno disuelto en el afluente a TRH de 5 días varió entre 0.11 ppm y 0.62 ppm, donde el promedio calculado para el periodo fue de 0.22 ppm y la desviación estándar de 0.12 ppm.

En el caso del afluente el valor máximo reportado fue de 0.39 ppm y el mínimo de 0.03 ppm, donde la media del periodo fue de 0.21 ppm y la desviación estándar calculada de 0.09 ppm. Durante la etapa a 5 días de TRH la diferencia promedio de concentración de OD entre el afluente y el efluente fue de 0.00, es decir no hubo mucha diferencia en ambas.

La estadística dada por la Tabla N° 56 con respecto a la etapa de 3 días de TRH, se muestra que el afluente varió sus valores entre 0.11 ppm y 0.28 ppm, el promedio para el afluente fue de 0.17 ppm y la desviación estándar de 0.05.

Para el efluente se reportó valores entre 0.10 ppm y 0.54 ppm, donde el promedio para esta etapa fue de 0.26 ppm y la desviación estándar de 0.12 ppm. Además la diferencia promedio entre el efluente y el afluente fue de 0.13 ppm.

Finalmente la Tabla N° 57 nos muestra la estadística del sistema a 1 día de TRH, donde el afluente reportó valores entre 0.05 y 0.44, siendo el promedio calculado de 0.23 ppm y la desviación estándar de 0.09. Para el caso del efluente se observa que su máximo valor reportado fue de 0.68 ppm y el mínimo fue de 0.14 ppm, además el promedio para el periodo fue de 0.33 ppm con una desviación estándar de 0.16 ppm. Cabe mencionar que la diferencia promedio entre el efluente y el afluente fue de 0.17 ppm

OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	0.11	0.22	0.12	0.00
	VALOR MAX	0.62			
SALIDA	VALOR MIN	0.03	0.21	0.09	
	VALOR MAX	0.39			
			PROMEDIO	DESV. EST.	DIFERENCIA

Tabla N°55: Estadística del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	0.11	0.17	0.05	0.13
	VALOR MAX	0.28			
SALIDA	VALOR MIN	0.10	0.26	0.12	
	VALOR MAX	0.54			
			PROMEDIO	DESV. EST.	DIFERENCIA

Tabla N°56: Estadística del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
ENTRADA	VALOR MIN	0.05	0.23	0.09	0.17
	VALOR MAX	0.44			
SALIDA	VALOR MIN	0.14	0.33	0.16	
	VALOR MAX	0.68			
			PROMEDIO	DESV. EST.	DIFERENCIA

Tabla N°57: Estadística del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

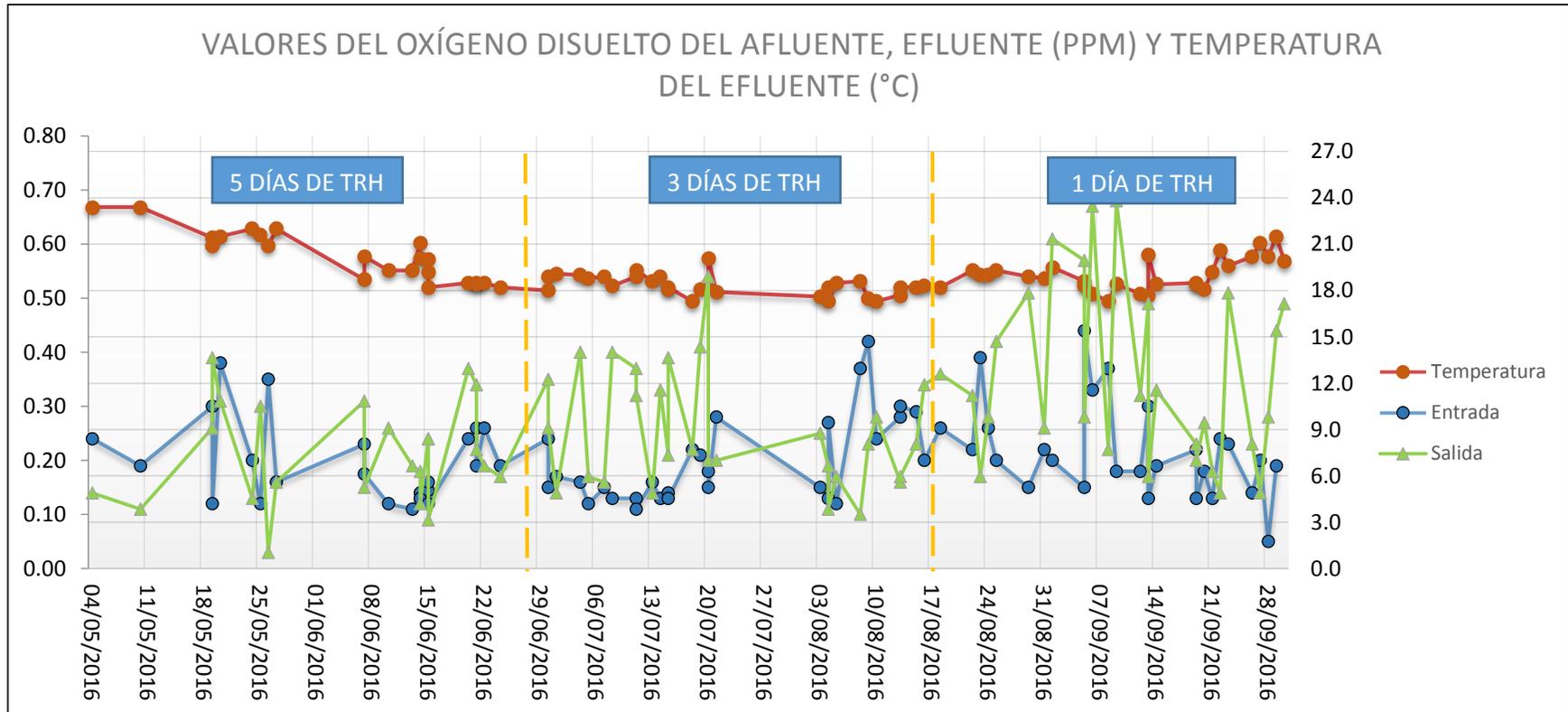


Gráfico N°70: Valores del oxígeno disuelto del afluente, efluente y la temperatura en el efluente del sistema FMF durante el periodo de investigación a TRH de 5, 3 y 1 días. (Fuente propia)

15.2. ANÁLISIS DEL OXÍGENO DISUELTO

El Gráfico N° 70 nos muestra los gráficos formados por los valores reportados de oxígenos disuelto tanto en el afluente como en el efluente, así como en el de la temperatura del efluente del mismo día de medición que el oxígeno disuelto.

Se puede observar que la concentración oxígeno disuelto de la entrada y de la salida, para la etapa de 5 días de tiempo de retención hidráulica, son similares, tampoco se observa una influencia significativa de la temperatura sobre la tendencia de dichos valores.

Para la etapa de 5 días de TRH se observa que hasta la fecha del 20/07/2016 existe una notable superioridad de concentración de OD del efluente sobre el afluente; sin embargo dicho comportamiento cambia a partir de 03/08/2016 donde se retoman los monitoreos, pues cabe mencionar que entre los días mencionados CITRAR-FIA-UNI no recibió caudal y la investigación se paró parcialmente.

Finalmente, para el TRH de 1 día se observa una notable diferencia de concentración de OD entre el efluente y el afluente, aunque al final de la etapa se observa una caída del OD en el efluente.

16. SÓLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES DE LA MACRÓFITA

16.1. RESULTADO DE SÓLIDOS TOTALES DE LA MACRÓFITA

En la Tabla N° 58 se muestra que los parámetros analizados para la macrófita Vetiver utilizada para el humedal artificial investigado. Se observa que en promedio los sólidos totales representa un 64.61% de toda la hoja de la macrófita.

Por otro lado los sólidos volátiles representa aproximadamente un 32.10% del peso total de la hoja de la macrófita. También se muestra un gráfico representativo de los valores descritos anteriormente que representa las proporciones de cada parámetro respecto a una muestra de hoja de la macrófita.

FECHA	N°	PESO DE MUESTRA (g)	SÓLIDOS TOTALES		SÓLIDOS VOLÁTILES	
			PESO (g)	PORCIÓN (%)	PESO (g)	PORCIÓN (%)
21/03/16	1	3.9990	2.2975	57.45	1.5958	39.91
	2	3.9995	2.4445	61.12	1.4458	36.15
25/05/16	3	1.9988	1.3790	68.99	0.5453	27.28
	4	1.5044	1.0664	70.89	0.3771	25.07
			Promedio	64.61	Promedio	32.10

Tabla N°58: Registro y estadística de los Sólidos Totales y Sólidos Volátiles de la hoja de la Macrófita utilizada. (Fuente propia)

FECHA	N°	PESO DE MUESTRA (g)	% DE AGUA	
			PESO (g)	PORCIÓN (%)
21/03/16	1	3.9990	1.7015	42.55
	2	3.9995	1.5550	38.88
25/05/16	3	1.9988	0.6198	31.01
	4	1.5044	0.4380	29.11
			Promedio	35.3878

Tabla N°59: Registro y estadística del porcentaje de agua de la hoja de la Macrófita utilizada. (Fuente propia)

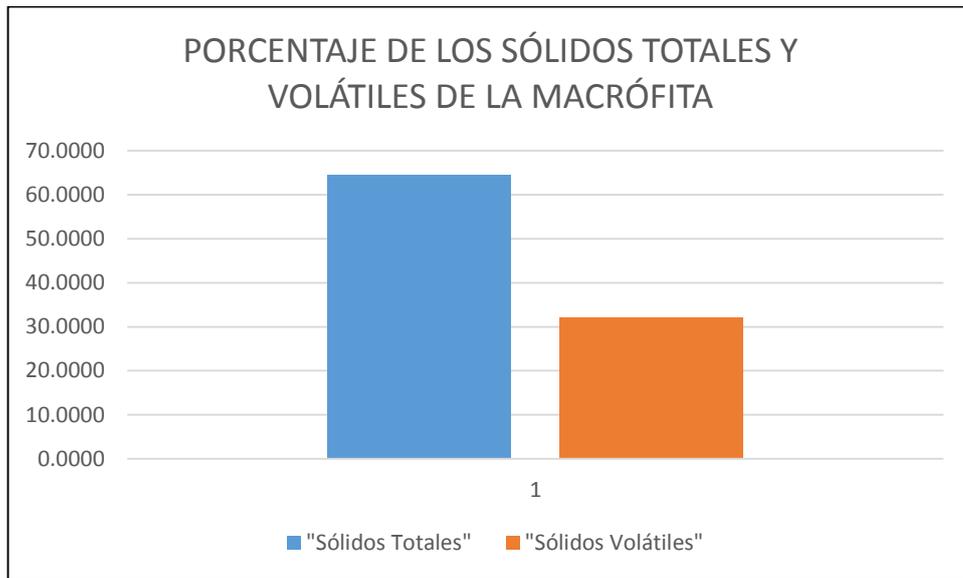


Gráfico N°71: Porcentaje de los sólidos totales y los sólidos volátiles de la hoja fresca de la macrófita vetiver zizanioides. (Fuente propia)

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- La instalación de la malla mosquitera aumentó la temperatura ambiental del humedal en por lo menos 1.59 °C durante la investigación. En el caso del agua residual la temperatura del afluente fue superior al efluente en 0.63 °C, 0.23 °C y 0.45°C para los TRH de 5, 3 y 1 día respectivamente.
- El valor de la turbiedad en el efluente a 5 días de TRH fue superior al afluente por 34.87 UNT en promedio. Para las etapas de 1 día y 3 días de TRH la turbiedad disminuyó en 20.19 UNT y 1.96 UNT respectivamente. Mientras que para el TRH de 5 días el valor de la turbiedad en el efluente fue superior al afluente en 34.87 UNT. Por lo tanto, a medida que disminuye el tiempo de retención hidráulica, la eficiencia en remoción de turbiedad del sistema aumenta
- Durante toda la investigación los valores de pH para la entrada variaron entre 6.60 y 7.40, mientras que para la salida se reportó entre 6.70 y 7.90, siendo el TRH de 5 días el que registró los valores más altos tanto para el afluente como para el efluente.
- Los valores de conductividad en el afluente durante toda la investigación variaron entre 1065 $\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y 2145 $\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$, mientras que para el efluente varió entre 1065 $\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$ y 1431 $\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$.
- Los sólidos totales reportados durante toda la investigación muestran que la mayor remoción ocurrió en la última etapa de investigación, es decir a 1 día de TRH siendo el valor calculado de 7.11%. En las otras dos etapas la remoción fue mínima (1.41 % para 3 días de TRH) y en un caso donde el parámetro aumentó a la salida del humedal (TRH de 5 días).
- Para el caso de los sólidos suspendidos totales la mayor eficiencia se observó en la etapa de 1 día de TRH llegando a 18.80%. Para el tiempo de retención hidráulica de 5 días la eficiencia promedio fue de 9.81%. Durante

la etapa a tiempo de retención hidráulica de 3 días no se observó remoción considerable del parámetro.

- Con los Sólidos Volátiles la única remoción porcentual positiva fue registrada a 1 día de TRH y esta fue de 37.40 %. El caso contrario ocurrió en la etapa de 5 días de TRH donde los sólidos volátiles totales en el efluente fue 23.17 % mayor al del afluente del humedal artificial.
- Los resultados para los Sólidos Disueltos Totales no muestran una remoción considerable de los SDT dado que la mayor eficiencia promedio obtenida fue de 4.21% a TRH de 1 día.
- La hipótesis planteada se cumple para el parámetro de nitratos dado que el sistema superó el valor de 30% en remoción de nitratos en la etapa de 5 días de TRH (67.06%) y en la etapa de 3 días de TRH (38.09%). Según se muestra en el Gráfico N° 38, la eficiencia en remoción del presente parámetro puede aumentar en 12.6% por día de aumento en el Tiempo de Retención Hidráulica.
- La hipótesis planteada se cumple para el parámetro de nitritos dado que el sistema superó el valor de 30% en remoción de nitritos en la etapa de 5 días de TRH (49.78%) y en la etapa de 3 días de TRH (40.54%). Según se muestra en el Gráfico N° 42, la eficiencia en remoción del presente parámetro puede aumentar en 5.6% por día de aumento en el Tiempo de Retención Hidráulica.
- La hipótesis planteada no se cumple para el parámetro de DBO_5 dado que el sistema no superó el valor de 65% en remoción de DBO_5 en ningún periodo de la investigación, siendo la máxima eficiencia alcanzada en remoción de DBO_5 de 57.5% a 5 días de TRH. Según se muestra en el Gráfico N° 26, la eficiencia en remoción del presente parámetro puede aumentar en 3.92% por día de aumento en el Tiempo de Retención Hidráulica.

- La máxima eficiencia en remoción de DQO_{total} alcanzada fue de 33.8% durante el etapa de 5 días de TRH. Es así que no se cumple la hipótesis planteada. Según se muestra en el Gráfico N° 30, la eficiencia en remoción del presente parámetro puede aumentar en 3.65% por día de aumento en el Tiempo de Retención Hidráulica.
- La máxima eficiencia en remoción de DQO_{soluble} alcanzada fue de 38.1% durante la etapa de 5 días de TRH. Es así que no se cumple la hipótesis planteada. Según se muestra en el Gráfico N° 34, la eficiencia en remoción del presente parámetro puede aumentar en 5.08% por día de aumento en el Tiempo de Retención Hidráulica.
- La concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en el efluente durante la etapa de 5 días de TRH varió entre 0.03 ppm y 0.39 ppm. Durante la evaluación a TRH de 3 días el OD varió entre 0.10 ppm y 0.54 ppm. Operando a 1 día de TRH la concentración de OD en el efluente varió entre 0.14 ppm y 0.68 ppm. Debido a las concentraciones de oxígeno en el sistema, el medio estuvo en condiciones anóxicas.
- El porcentaje de sólitos totales promedio calculado en la hojas de la macrófita vetiver zizanioides fue de 64.61%, mientras que para los sólidos volátiles se reportó de 32.1 %. Además se tiene que el porcentaje en peso de agua contenida en cada hoja fue 35.38% en promedio.
- Según los resultados obtenidos, los parámetros cuyos valores estuvieron por debajo de los LMP para efluentes de PTAR durante toda la investigación son: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno. pH y Temperatura. No se midieron Aceites y Grasas ni Coliformes Termotolerantes en la presente investigación.
- El sistema FMF sólo cumplió con los LMP en el parámetro de Sólidos Totales en Suspensión para PTAR durante los periodos de evaluación a 5 días de TRH y 3 días de TRH.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- La importancia de la malla mosquitera instalada en el sistema radica en evitar la proliferación principalmente de zancudos o que algún animal ingrese (roedores, aves pequeñas, etc.).
- La limpieza de la tubería de recolección de agua tratada en el sistema FMF es importante y se recomienda realizarlo diariamente para evitar obstrucción del sistema, además cada semana se cerraba la válvula de salida dar tirante de agua y que al abrirla el arrastre hidráulico limpie los sedimentos de la tubería de salida.
- Se recomienda utilizar un dispositivo mezclador en el tanque de almacenamiento para homogenizar el agua residual de entrada.
- Se recomienda mantener el sistema FMF expuesta a luz solar el máximo de horas posibles dado que dichas plantas requieren tiempos de exposición prolongados.
- Cuando se acepta un tiempo de retención hidráulica teórico se está asumiendo que no existen zonas muertas o corto circuitos, es decir que es un flujo pistón. Esto es debido a que resulta dificultoso determinar las zonas muertas o cortos circuitos que pudieran existir en el sistema hidráulico existente.
- Evaluar el sistema FMF con afluente con altas concentraciones de nutrientes (nitratos, nitritos, fósforo) para poder simular un agua residual industrial. Considerar un tiempo de retención óptima.
- Considerar someter a diferentes condiciones climáticas al sistema FMF y evaluar el comportamiento en remoción de materia orgánica ya que este depende mucho de la temperatura y las condiciones hidráulicas del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA J. (2015). Evaluación comparativa de un humedal artificial de macrófitas en flotación artificial y un sistema de lagunaje para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ash,R., Truong, P. (2003). Use of vetiver grass wetland for sewerage treatment in Australia. Sydney University. Queensland, Australia.
- Delgadillo, O., Camacho A., Perez L. F. y Andrade M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Bolivia, Universidad Mayor de San Simón y Universidad de Barcelona, 21-30.
- FERNÁNDEZ J. (2001). Manual de fitodepuración: Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Fernández J. (2001). New Floating Macrophyte Green Filters (FMF) For the Mediterranean Region. Ayuntamiento de Murcia. Murcia, España.
- Fernández J. Utilización de plantas acuáticas para la depuración de purines. Universidad Politécnica de Madrid. Journal Dossier, 38-40.
- Jimeno, E. (1998). Análisis de aguas y desagués-2da edición. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Kanokporn, monchai. (2010). Domestic wastewater treatment using vetiver grass cultivated with floating platform technique. Chulalongkorn University, Bangkok, Tailandia.
- Martines, Arnal, Verdú y García-Fayos. (2010). Diseño de una unidad de tratamiento de aguas residuales urbanas para su aplicación en países en vías de desarrollo. Conferencia Internacional sobre Proyectos de Ingeniería. Zaragoza, España.

- Metcalf & Eddy. (1998). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización-tercera edición. Mac Graw Hill, Madrid, España.
- Mortelo, J. y Lara, J. A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. Ingeniería y Ciencia, Volumen 8, N° 15, Universidad Escuela de Administración, Finanzas y Tecnología-EAFIT.
- Seoáñez, M. y Gutiérrez de Ojesto, A. (1999). Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales. Ed. Mundi-Prensa, España, 243-247.
- The School Of Civil Engineering. (1977). Preceedings of the 32nd industrial waste conference. Purdue University Lafayette, Indiana.
- U.S. Enviromental Protection Agency (EPA). Design manual: Constructed wetlands and acuatic plant system for municipal wastewater treatment. Centro de información para la investigación ambiental, Cincinnati, 47-55.

ANEXOS

REGISTRO DE LOS MONITOREOS

A. SOBRE LA PUESTA EN MARCHA

1. TEMPERATURA AMBIENTAL

TEMPERATURA AMBIENTAL(°C)					
N°	FECHA	HORA	INTERNO	EXTERNO	ΔT°
1	23/11/2015	10:00	20.8	19.0	1.8
2	24/11/2015	10:00	22.0	18.0	4.0
3	25/11/2015	10:00	20.0	22.0	-2.0
4	25/11/2015	10:00	20.0	18.0	2.0
5	26/11/2015	15:00	24.0	21.0	3.0
6	29/11/2015	10:00	19.0	18.0	1.0
7	01/12/2015	10:00	22.0	20.0	2.0
8	09/12/2015	10:00	24.0	23.0	1.0
9	11/12/2015	10:00	22.0	20.0	2.0
10	14/12/2015	10:00	20.0	19.0	1.0
11	17/12/2015	15:00	24.0	22.0	2.0
12	18/12/2015	10:00	22.0	20.0	2.0
13	23/12/2015	10:00	22.0	20.5	1.5
14	04/01/2016	10:00	19.0	17.0	2.0
15	05/01/2016	10:00	28.0	26.0	2.0
16	07/01/2016	10:00	24.0	23.0	1.0
17	18/01/2016	10:00	28.0	28.0	0.0
18	29/01/2016	10:00	24.5	22.3	2.2
19	10/02/2016	10:00	28.0	28.0	0.0
20	12/02/2016	10:00	26.0	26.0	0.0
21	12/02/2016	15:00	28.0	27.2	0.8
22	15/02/2016	10:00	25.0	24.0	1.0
23	18/02/2016	10:00	30.0	29.0	1.0
24	19/02/2016	10:00	30.0	26.0	4.0
25	19/02/2016	15:00	29.0	29.0	0.0
26	22/02/2016	10:00	20.5	20.5	0.0
27	01/03/2016	10:00	29.0	27.0	2.0
28	04/03/2016	10:00	30.0	27.0	3.0
29	04/03/2016	15:00	31.0	30.0	1.0
30	11/03/2016	10:00	29	29	0.0
31	17/03/2016	10:00	26	26	0.0
32	21/03/2016	10:00	26	26	0.0
33	21/03/2016	15:00	27.5	28	-0.5
34	23/03/2016	10:00	28.5	30	-1.5
35	28/03/2016	10:00	30	28	2.0

TEMPERATURA AMBIENTAL(°C)					
N°	FECHA	HORA	INTERNO	EXTERNO	ΔT°
36	29/03/2016	10:00	31	28	3.0
37	06/04/2016	10:00	28	25	3.0
38	18/04/2016	10:00	22	20	2.0
39	21/04/2016	10:00	20	22	-2.0
40	22/04/2016	10:00	26	24	2.0
41	22/04/2016	15:00	23	23	0.0
42	25/04/2016	10:00	24	24	0.0
43	29/04/2016	10:00	27	25	2.0

Tabla N°60: Registro de la temperatura ambiental en el periodo de arranque.

(Fuente propia)

2. TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
1	13/11/2015	10:00	21.6	21.2	0.4
2	16/11/2015	10:00	20.8	20.7	0.1
3	17/11/2015	10:00	21.0	21.0	0.0
4	18/11/2015	10:00	20.7	20.3	0.4
5	18/11/2015	15:00	21.1	20.3	0.8
6	19/11/2015	10:00	21.0	20.7	0.3
7	20/11/2015	10:00	20.8	20.6	0.2
8	23/11/2015	10:00	22.8	21.9	0.9
9	24/11/2015	10:00	21.9	21.3	0.6
10	25/11/2015	10:00	21.5	20.9	0.6
11	25/11/2015	15:00	23.4	22.2	1.2
12	26/11/2015	10:00	22.7	21.8	0.9
13	01/12/2015	10:00	22.5	21.6	0.9
14	03/12/2015	10:00	25.5	24.1	1.4
15	09/12/2015	10:00	22.8	22.8	0.0
16	11/12/2015	10:00	23.7	23.3	0.4
17	14/12/2015	10:00	21.8	21.4	0.4
18	17/12/2015	10:00	24.5	23.7	0.8
19	18/12/2015	10:00	22.7	22.6	0.1
20	23/12/2015	10:00	22.6	22.1	0.5
21	05/01/2016	10:00	28.6	27.2	1.4
22	07/01/2016	10:00	25.8	24.8	1.0
23	18/01/2016	10:00	28.2	27.0	1.2
24	29/01/2016	10:00	30.4	28.4	2.0

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
25	10/02/2016	10:00	28.6	27.8	0.8
26	12/02/2016	10:00	28.5	27.7	0.8
27	18/02/2016	10:00	30.6	29.6	1.0
28	19/02/2016	10:00	27.8	27.6	0.2
29	19/02/2016	15:00	30.3	29.1	1.2
30	22/02/2016	10:00	27.2	28.2	-1.0
31	04/03/2016	10:00	28.3	29.3	-1.0
32	04/03/2016	10:00	30.5	29.2	1.3
33	10/03/2016	10:00	28.8	28.6	0.2
34	10/03/2016	12:00	28.3	28.7	-0.4
35	10/03/2016	15:00	29.2	28.2	1.0
36	21/03/2016	10:00	26.6	26.0	0.6
37	23/03/2016	10:00	29.6	28.4	1.2
38	29/03/2016	10:00	28.0	28.1	-0.1
39	06/04/2016	10:00	28.4	26.9	1.5
40	20/04/2016	10:00	26.5	25.5	1.0
41	21/04/2016	10:00	24.3	23.6	0.7
42	21/04/2016	15:00	25.4	24.1	1.3
43	22/04/2016	10:00	25.2	24.1	1.1
44	22/04/2016	15:00	25.6	24.6	1.0
45	25/04/2016	10:00	25.7	25.8	-0.1
46	28/04/2016	10:00	23.8	23.4	0.4
47	28/04/2016	15:00	26.9	25.2	1.7
48	29/04/2016	10:00	26.4	25.1	1.3

Tabla N° 61: Registro de la temperatura del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

3. TURBIEDAD

N°	FECHA	HORA	TURBIEDAD (UNT)		REMOCIÓN	EFICIENCIA
			ENTRADA	SALIDA		
1	13/11/15	10:00	52.1	41.7	10.4	19.96
2	16/11/15	10:00	28.8	26.3	2.5	8.68
3	17/11/15	10:00	20.3	19.7	0.6	2.96
4	18/11/15	10:00	22.4	19.4	3	13.39
5	20/11/15	10:00	45.8	20.6	25.2	55.02
6	23/11/15	10:00	44.2	20.4	23.8	53.85
7	24/11/15	10:00	44	19.3	24.7	56.14
8	25/11/15	10:00	36.8	19	17.8	48.37
9	25/11/15	10:00	47.1	16.6	30.5	64.76

N°	FECHA	HORA	TURBIEDAD (UNT)		REMOCIÓN	EFICIENCIA
			ENTRADA	SALIDA		
10	26/11/15	10:00	51.8	22	29.8	57.53
11	11/03/16	10:00	19	7.84	11.16	58.74
12	23/03/16	10:00	70	27.2	42.8	61.14

Tabla N°62: Registro de la turbiedad en el periodo de arranque. (Fuente propia)

4. EL pH

El pH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	Δ pH
1	13/11/2015	10:00	7.01	7.13	0.12
2	16/11/2015	10:00	7.00	7.24	0.24
3	17/11/2015	10:00	6.54	7.05	0.51
4	18/11/2015	10:00	6.03	7.12	1.09
5	18/11/2015	15:00	6.85	7.09	0.24
6	19/11/2015	10:00	6.88	7.12	0.24
7	20/11/2015	10:00	6.62	7.08	0.46
8	23/11/2015	10:00	6.82	7.32	0.50
9	24/11/2015	10:00	7.02	7.29	0.27
10	25/11/2015	10:00	7.05	7.20	0.15
11	25/11/2015	15:00	6.97	7.27	0.30
12	26/11/2015	10:00	6.68	7.23	0.55
13	01/12/2015	10:00	6.95	7.19	0.24
14	03/12/2015	10:00	7.27	7.40	0.13
15	09/12/2015	10:00	7.09	7.42	0.33
16	11/12/2015	10:00	6.88	7.45	0.57
17	14/12/2015	10:00	7.03	7.46	0.43
18	17/12/2015	10:00	7.20	7.48	0.28
19	18/12/2015	10:00	7.14	7.53	0.39
20	23/12/2015	10:00	7.18	7.60	0.42
21	05/01/2016	10:00	6.69	7.31	0.62
22	07/01/2016	10:00	6.78	7.20	0.42
23	18/01/2016	10:00	7.46	7.92	0.46
24	29/01/2016	10:00	7.03	7.95	0.92
25	10/02/2016	10:00	7.43	7.89	0.46
26	12/02/2016	10:00	7.06	7.86	0.80
27	18/02/2016	10:00	7.16	7.51	0.35
28	19/02/2016	10:00	7.03	7.85	0.82
29	19/02/2016	15:00	7.10	7.83	0.73
30	22/02/2016	10:00	7.12	7.75	0.63
31	04/03/2016	10:00	6.88	7.67	0.79

El pH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	Δ pH
32	04/03/2016	15:00	7.08	7.81	0.73
33	10/03/2016	10:00	7.19	7.77	0.58
34	10/03/2016	12:00	7.05	7.66	0.61
35	10/03/2016	15:00	7.19	7.87	0.68
36	21/03/2016	10:00	6.98	7.75	0.77

Tabla N°63: Registro del pH del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

5. CONDUCTIVIDAD Y SDT

N°	FECHA	HORA	CONDUCTIVIDAD (μ S/m-1)			SDT (ppm)		
			ENTR.	SALID.	EFICI.	ENTR.	SALID.	EFICI.
1	18/11/2015	15:00	1194	1296	-8.54	1054	1155	-9.58
2	19/11/2015	10:00	1172	1165	0.60	1047	1020	2.58
3	20/11/2015	10:00	1392	1140	18.10	1238	1053	14.94
4	23/11/2015	10:00	1378	1182	14.22	1225	1050	14.29
5	24/11/2015	10:00	1370	1240	9.49	1217	1103	9.37
6	25/11/2015	10:00	1308	1241	5.12	1329	1103	17.01
7	25/11/2015	15:00	1424	1227	13.83	1267	1084	14.44
8	26/11/2015	10:00	1452	1237	14.81	1287	1097	14.76
9	01/12/2015	10:00	1246	1238	0.64	1105	1095	0.90
10	09/12/2015	10:00	1387	1222	11.90	1204	1084	9.97
11	11/12/2015	10:00	1428	1287	9.87	1269	1139	10.24
12	14/12/2015	10:00	1410	1287	8.72	1268	1139	10.17
13	17/12/2015	10:00	1336	1310	1.95	1195	1144	4.27
14	18/12/2015	10:00	1278	1279	-0.08	1130	1131	-0.09
15	23/12/2015	10:00	1325	1242	6.26	1177	1097	6.80
16	05/01/2016	10:00	1240	1160	6.45	1102	1055	4.26
17	07/01/2016	10:00	1257	1166	7.24	1177	1166	0.93
18	18/01/2016	10:00	1332	1202	9.76	1185	1053	11.14
19	10/02/2016	10:00	1020	1449	-42.06	903.2	1284	-42.16
20	12/02/2016	10:00	1031	1093	-6.01	1003	975.3	2.76
21	18/02/2016	10:00	1309	1148	12.30	1168	1022	12.50
22	19/02/2016	10:00	1124	1104	1.78	1003	979.5	2.34
23	19/02/2016	15:00	1137	1129	0.70	1048	1002	4.39
24	22/02/2016	10:00	1156	1103	4.58	1040	974.1	6.34
25	04/03/2016	10:00	1009	1101	-9.12	904.5	978.3	-8.16
26	04/03/2016	15:00	1050	1094	-4.19	920.8	946.7	-2.81
27	10/03/2016	10:00	1037	1066	-2.80	920.2	948.6	-3.09
28	10/03/2016	12:00	1069	1063	0.56	940.5	943.5	-0.32

N°	FECHA	HORA	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$)			SDT (ppm)		
			ENTR.	SALID.	EFICI.	ENTR.	SALID.	EFICI.
29	10/03/2016	15:00	1048	1060	-1.15	941.4	942.5	-0.12
30	21/03/2016	10:00	989.3	1040	-5.12	879	921.8	-4.87
31	23/03/2016	10:00	1388	991.6	28.56	1214	884.1	27.17
32	29/03/2016	10:00	1214	1081	10.96	1104	986.8	10.62
33	06/04/2016	10:00	1081	971	10.18	1409	1102	21.79
34	20/04/2016	10:00	1436	1272	11.42	1269	1136	10.48
35	21/04/2016	10:00	1415	1313	7.21	1253	1173	6.38
36	21/04/2016	10:00	1367	1316	3.73	1242	1147	7.65
37	22/04/2016	10:00	1398	1342	4.01	1239	1200	3.15
38	22/04/2016	15:00	1350	1360	-0.74	1198	1206	-0.67
39	25/04/2016	10:00	1315	1311	0.30	1162	1166	-0.34
40	28/04/2016	10:00	1411	1385	1.84	1217	1233	-1.31
41	28/04/2016	15:00	2725	1378	49.43	2335	1214	48.01
42	29/04/2016	10:00	1621	1402	13.51	1465	1238	15.49

Tabla N°64: Registro de la conductividad y sdt del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

6. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

DQO TOTAL (ppm)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA (%)
1	16/11/2015	10:00	117	113	3.42
2	20/11/2015	10:00	159	95	40.25
3	26/11/2015	10:00	210	100	52.38
4	03/12/2015	10:00	195	104	46.67
5	14/12/2015	10:00	231	152	34.20
6	05/01/2016	10:00	272	114	58.09
7	07/01/2016	10:00	171	121	29.24
8	10/02/2016	10:00	99	74	25.25
9	12/02/2016	10:00	161	66	59.01
10	01/03/2016	10:00	64	55	14.06
11	23/03/2016	10:00	93	54	41.94
12	20/04/2016	10:00	219	123	43.84
13	25/04/2016	10:00	182	142	21.98
14	28/04/2016	15:00	262	151	42.37

Tabla N°65: Registro de la DQO total del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

DQO SOLUBLE (ppm)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA (%)
1	26/11/2015	10:00	167	72	56.89
2	03/12/2015	10:00	72	73	-1.39
3	14/12/2015	10:00	107	67	37.38
4	05/01/2016	10:00	141	85	39.72
5	07/01/2016	10:00	118	84	28.81
6	10/02/2016	10:00	58	58	0.00
7	12/02/2016	10:00	105	35	66.67
8	01/03/2016	10:00	44	23	47.73
9	23/03/2016	10:00	51	33	35.29
10	20/04/2016	10:00	175	82	53.14
11	25/04/2016	10:00	156	101	35.26
12	28/04/2016	15:00	220	120	45.45

Tabla N°66: Registro de la DQO soluble del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

7. SÓLIDOS TOTALES (ST)

SOLIDOS TOTALES (ppm)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA (%)
1	14/03/2016	10:00	498.00	493.33	0.94
2	21/03/2016	10:00	512.00	484.00	5.47
3	28/03/2016	10:00	566.67	480.00	15.29
4	11/04/2016	10:00	696.00	612.00	12.07
5	18/04/2016	10:00	744.00	668.00	10.22
6	25/04/2016	10:00	880.00	764.00	13.18

Tabla N°67: Registro de los sólidos totales del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

8. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (ppm)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA (%)
1	14/03/2016	10:00	13.33	20.00	-50.00
2	21/03/2016	10:00	113.00	15.00	86.73
3	28/03/2016	10:00	106.67	33.33	68.75
4	11/04/2016	10:00	84.00	264.00	-214.29
5	18/04/2016	10:00	60.00	32.00	46.67
6	25/04/2016	10:00	44.00	56.00	-27.27

Tabla N°68: Registro de los sólidos suspendidos totales del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

9. SÓLIDOS VOLÁLITES TOTALES (SVT)

SOLIDOS VOLÁTILES TOTALES (ppm)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA (%)
1	14/03/2016	10:00	343.00	226.00	34.11
2	21/03/2016	10:00	359.00	152.00	57.66
3	11/04/2016	10:00	344.00	216.00	37.21
4	18/04/2016	10:00	148.00	108.00	27.03

Tabla N°69: Registro de los sólidos volátiles totales del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

10. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (ppm)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	EFICIENCIA (%)
1	28/03/2016	10:00	460.00	446.67	2.90
2	11/04/2016	10:00	612.00	348.00	43.14
3	18/04/2016	10:00	684.00	636.00	7.02
4	25/04/2016	10:00	836.00	708.00	15.31

Tabla N°70: Registro de los sólidos disueltos totales del humedal artificial durante el periodo de arranque. (Fuente propia)

A. SOBRE LA INVESTIGACIÓN

1. TEMPERATURA AMBIENTAL

TEMPERATURA AMBIENTAL A 5 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	INTERNO	EXTERNO	ΔT°
1	03/05/2016	10:00	23.0	22.0	1.0
2	04/05/2016	12:00	24.0	25.0	-1.0
3	05/05/2016	10:00	22.0	22.0	0.0
4	06/05/2016	10:00	23.0	22.0	1.0
5	07/05/2016	10:00	27.0	25.0	2.0
6	11/05/2016	10:00	21.0	21.0	0.0
7	12/05/2016	10:00	20.0	19.0	1.0
8	13/05/2016	10:00	20.0	18.0	2.0
9	16/05/2016	10:00	21.0	19.0	2.0
10	17/05/2016	10:00	23.0	22.0	1.0
11	17/05/2016	10:00	20.0	18.0	2.0
12	20/05/2016	10:00	20.0	20.0	0.0

TEMPERATURA AMBIENTAL A 5 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	INTERNO	EXTERNO	ΔT°
13	24/05/2016	10:00	22.0	21.0	1.0
14	25/05/2016	10:00	19.0	17.0	2.0
15	26/05/2016	10:00	23.0	20.0	3.0
16	27/05/2016	10:00	19.0	16.0	3.0
17	30/05/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
18	31/05/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
19	01/06/2016	10:00	19.0	18.0	1.0
20	01/06/2016	10:00	17.0	16.0	1.0
21	03/06/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
22	07/06/2016	10:00	18.0	15.0	3.0
23	09/06/2016	10:00	19.0	16.0	3.0
24	10/06/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
25	14/06/2016	10:00	20.0	18.0	2.0
26	15/06/2016	10:00	19.0	17.0	2.0
27	16/06/2016	12:00	17.0	15.0	2.0
28	20/06/2016	10:00	19.0	17.0	2.0
29	20/06/2016	10:00	17.0	17.0	0.0
30	21/06/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
31	21/06/2016	12:00	18.0	16.0	2.0
32	22/06/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
33	24/06/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
34	27/06/2016	10:00	17.0	15.0	2.0

Tabla N°71: Registro de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA AMBIENTAL A 3 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	INTERNO	EXTERNO	ΔT°
1	30/06/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
2	30/06/2016	10:00	19.0	17.0	2.0
3	01/07/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
4	04/07/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
5	06/07/2016	15:00	18.0	15.0	3.0
6	07/07/2016	10:00	19.0	17.0	2.0
7	08/07/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
8	12/07/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
9	13/07/2016	12:00	18.0	16.0	2.0
10	15/07/2016	10:00	17.0	14.0	3.0
11	19/07/2016	15:00	16.0	14.0	2.0

TEMPERATURA AMBIENTAL A 3 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	INTERNO	EXTERNO	ΔT°
12	20/07/2016	12:00	17.0	15.0	2.0
13	26/07/2016	10:00	19.0	16.0	3.0
14	03/08/2016	10:00	19.0	17.0	2.0
15	05/08/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
16	07/08/2016	12:00	17.0	14.0	3.0

Tabla N°72: Registro de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA AMBIENTAL A 1 DIA DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	INTERNO	EXTERNO	ΔT°
1	09/08/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
2	10/08/2016	10:00	16.0	14.0	2.0
3	12/08/2016	10:00	16.0	14.0	2.0
4	12/08/2016	12:00	17.0	16.0	1.0
5	15/08/2016	15:00	18.0	16.0	2.0
6	16/08/2016	10:00	17.0	16.0	1.0
7	18/08/2016	10:00	20.0	19.0	1.0
8	19/08/2016	10:00	18.0	15.0	3.0
9	22/08/2016	10:00	17.0	14.0	3.0
10	23/08/2016	10:00	18.0	15.0	3.0
11	25/08/2016	10:00	17.0	15.0	2.0
12	29/08/2016	10:00	20.0	19.0	1.0
13	14/09/2016	10:00	20.0	19.0	1.0
14	20/09/2016	10:00	22.0	19.0	3.0
15	21/09/2016	10:00	19.0	18.0	1.0
16	21/09/2016	10:00	22.0	20.0	2.0
17	23/09/2016	10:00	18.0	16.0	2.0
18	28/09/2016	10:00	19.0	16.0	3.0

Tabla N°73: Registro de la temperatura ambiental del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

2. TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
1	03/05/2016	10:00	25.5	23.7	1.8
2	03/05/2016	12:00	25.5	24.6	0.9
3	04/05/2016	10:00	23.6	23.4	0.2
4	05/05/2016	10:00	24.7	24.7	0.0

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
5	10/05/2016	10:00	24.2	23.4	0.8
6	11/05/2016	10:00	23.9	23.5	0.4
7	12/05/2016	10:00	23.8	22.8	1.0
8	13/05/2016	10:00	24.7	24.1	0.6
9	17/05/2016	10:00	22.3	21.4	0.9
10	19/05/2016	10:00	20.9	20.9	0.0
11	20/05/2016	10:00	21.9	21.5	0.4
12	24/05/2016	10:00	22.9	22.0	0.9
13	25/05/2016	10:00	22.4	21.6	0.8
14	26/05/2016	10:00	21.8	20.9	0.9
15	27/05/2016	10:00	22.7	22.0	0.7
16	01/06/2016	10:00	21.1	19.7	1.4
17	03/06/2016	10:00	19.6	19.3	0.3
18	07/06/2016	10:00	19.4	18.7	0.7
19	08/06/2016	10:00	20.2	20.2	0.0
20	09/06/2016	10:00	19.4	19.3	0.1
21	10/06/2016	10:00	19.8	19.3	0.5
22	13/06/2016	10:00	23.0	21.1	1.9
23	14/06/2016	10:00	21.2	20.1	1.1
24	15/06/2016	10:00	20.4	20.0	0.4
25	16/06/2016	10:00	19.6	19.2	0.4
26	21/06/2016	10:00	18.7	18.2	0.5
27	21/06/2016	12:00	19.0	18.5	0.5
28	22/06/2016	10:00	18.7	18.5	0.2
29	24/06/2016	10:00	18.4	18.4	0.0

Tabla N°74: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
1	30/06/2016	10:00	18.0	18.0	0.0
2	01/07/2016	10:00	19.0	18.9	0.1
3	05/07/2016	10:00	19.3	19.1	0.2
4	07/07/2016	10:00	19.5	19.0	0.5
5	08/07/2016	15:00	19.0	18.8	0.2
6	11/07/2016	10:00	19.7	18.9	0.8
7	12/07/2016	10:00	18.3	18.3	0.0
8	13/07/2016	10:00	19.0	18.9	0.1
9	13/07/2016	12:00	19.3	19.3	0.0
10	14/07/2016	10:00	19.2	18.6	0.6

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
11	15/07/2016	15:00	19.0	18.9	0.1
12	15/07/2016	12:00	18.4	18.1	0.3
13	18/07/2016	10:00	18.1	18.2	-0.1
14	19/07/2016	10:00	17.4	17.3	0.1
15	20/07/2016	10:00	18.3	18.1	0.2
16	20/07/2016	12:00	18.5	18.4	0.1
17	01/08/2016	10:00	20.3	20.1	0.2
18	03/08/2016	10:00	18.4	17.9	0.5
19	04/08/2016	10:00	17.8	17.6	0.2
20	04/08/2016	12:00	18.3	18.2	0.1
21	05/08/2016	15:00	18.1	17.3	0.8
22	08/08/2016	10:00	18.5	18.5	0.0

Tabla N°75: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
1	09/08/2016	10:00	17.8	17.5	0.3
2	10/08/2016	10:00	17.4	17.3	0.1
3	12/08/2016	10:00	17.6	17.7	-0.1
4	12/08/2016	12:00	18.6	18.2	0.4
5	12/08/2016	15:00	18.6	18.2	0.4
6	15/08/2016	10:00	18.9	18.3	0.6
7	16/08/2016	10:00	18.6	18.2	0.4
8	19/08/2016	10:00	20.1	19.3	0.8
9	22/08/2016	10:00	19.4	19.0	0.4
10	23/08/2016	10:00	19.1	19.0	0.1
11	24/08/2016	10:00	19.9	19.3	0.6
12	25/08/2016	10:00	18.8	18.9	-0.1
13	26/08/2016	10:00	19.0	18.8	0.2
14	29/08/2016	10:00	20.6	19.5	1.1
15	31/08/2016	10:00	18.5	18.6	-0.1
16	01/09/2016	10:00	18.4	18.3	0.1
17	02/09/2016	10:00	18.2	17.8	0.4
18	05/09/2016	10:00	17.8	17.3	0.5
19	05/09/2016	12:00	18.8	18.4	0.4
20	06/09/2016	10:00	18.2	17.8	0.4
21	06/09/2016	12:00	18.2	17.7	0.5

TEMPERATURA DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (°C)					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔT°
22	07/09/2016	10:00	22.5	20.3	2.2
23	08/09/2016	10:00	19.5	18.4	1.1
24	09/09/2016	10:00	18.6	18.5	0.1
25	12/09/2016	10:00	18.8	18.4	0.4
26	13/09/2016	10:00	18.5	18.1	0.4
27	13/09/2016	12:00	20.6	19.2	1.4
28	14/09/2016	10:00	21.0	20.6	0.4
29	19/09/2016	10:00	20.0	19.6	0.4
30	19/09/2016	12:00	20.6	20.2	0.4
31	20/09/2016	10:00	21.1	21.1	0.0
32	21/09/2016	10:00	20.7	20.2	0.5
33	22/09/2016	10:00	21.7	21.5	0.2
34	23/09/2016	10:00	19.7	19.9	-0.2
35	26/09/2016	10:00	20.5	20	0.5
36	27/09/2016	10:00	21.5	20.9	0.6
37	28/09/2016	10:00	20.7	20	0.7
38	29/09/2016	10:00	19.9	19.7	0.2
39	30/09/2016	10:00	19.4	19.3	0.1

Tabla N°76: Registro de la temperatura en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

3. TURBIEDAD

TURBIEDAD DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (UNT)					
N°	FECHA	HORA	TURBIEDAD		Δ TURBIEDAD
			ENTRADA	SALIDA	
1	19/05/2016	10:00	110	91.1	18.90
2	25/05/2016	10:00	28.7	60.9	-32.20
3	03/06/2016	10:00	37.7	64.6	-26.90
4	08/06/2016	10:00	41	85.6	-44.60
5	09/06/2016	10:00	36.2	108	-71.80
6	10/06/2016	10:00	33.4	72.1	-38.70
7	11/06/2016	10:00	49.8	83.4	-33.60
8	14/06/2016	10:00	54.2	75.1	-20.90
9	15/06/2016	10:00	51	215	-164.00
10	16/06/2016	10:00	44.9	57	-12.10
11	21/06/2016	10:00	69.7	45.3	24.40

12	21/06/2016	12:00	56	86.8	-30.80
13	22/06/2016	10:00	72.8	94.7	-21.90
14	24/06/2016	10:00	39.7	73.7	-34.00

Tabla N°77: Registro de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

TURBIEDAD DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (UNT)					
N°	FECHA	HORA	TURBIEDAD		ΔTURBIEDAD
			ENTRADA	SALIDA	
1	30/06/2016	10:00	32.6	37.6	-5.00
2	01/07/2016	10:00	47.8	82.7	-34.90
3	04/07/2016	10:00	29	26.3	2.70
4	05/07/2016	10:00	30.8	27.7	3.10
5	07/07/2016	10:00	33.8	30	3.80
6	08/07/2016	10:00	31.5	26.3	5.20
7	11/07/2016	10:00	40.8	28.9	11.90
8	12/07/2016	10:00	38.7	26.6	12.10
9	14/07/2016	10:00	32.4	26.9	5.50
10	15/07/2016	10:00	44.8	27.3	17.50
11	15/07/2016	12:00	25.3	28.3	-3.00
12	18/07/2016	10:00	27.1	34	-6.90
13	19/07/2016	10:00	65.3	31.8	33.50
14	20/07/2016	10:00	35.8	31.6	4.20
15	20/07/2016	12:00	33.7	31.4	2.30
16	01/08/2016	10:00	78.9	99	-20.10
17	03/08/2016	10:00	57.6	32.6	25.00
18	04/08/2016	10:00	47.2	31	16.20
19	04/08/2016	12:00	38.3	37.6	0.70
20	05/08/2016	10:00	32	31.7	0.30
21	07/08/2016	10:00	22.8	55.7	-32.90

Tabla N°78: Registro de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

TURBIEDAD DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (UNT)					
N°	FECHA	HORA	TURBIEDAD		ΔTURBIEDAD
			ENTRADA	SALIDA	
1	09/08/2016	10:00	24.3	30.6	-6.30
2	10/08/2016	10:00	26.8	34.1	-7.30
3	12/08/2016	10:00	37.3	52.5	-15.20
4	12/08/2016	12:00	67	54.4	12.60
5	16/08/2016	10:00	52.9	33.8	19.10
6	18/08/2016	10:00	54.1	40.8	13.30

TURBIEDAD DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (UNT)					
N°	FECHA	HORA	TURBIEDAD		ΔTURBIEDAD
			ENTRADA	SALIDA	
7	19/08/2016	10:00	62.1	48.4	13.70
8	22/08/2016	10:00	42.2	29.4	12.80
9	23/08/2016	10:00	44.4	31.2	13.20
10	24/08/2016	10:00	62.2	49.6	12.60
11	25/08/2016	10:00	41.3	29.9	11.40
12	29/08/2016	10:00	36.7	36.4	0.30
13	31/08/2016	10:00	172	79.2	92.80
14	01/09/2016	10:00	63.6	93	-29.40
15	02/09/2016	10:00	100	41.8	58.20
16	05/09/2016	10:00	103	26	77.00
17	05/09/2016	12:00	68.5	41.9	26.60
18	06/09/2016	10:00	103	50.3	52.70
19	06/09/2016	12:00	45.8	31.7	14.10
20	07/09/2016	10:00	42	57.7	-15.70
21	08/09/2016	10:00	42	42.9	-0.90
22	09/09/2016	10:00	61.3	43	18.30
23	12/09/2016	10:00	94.9	42.7	52.20
24	13/09/2016	10:00	50.1	42.7	7.40
25	13/09/2016	12:00	56.6	37.3	19.30
26	14/09/2016	10:00	86.8	51.1	35.70
27	19/09/2016	10:00	64.1	22.2	41.90
28	19/09/2016	10:00	46.9	26.3	20.60
29	21/09/2016	10:00	53.7	54.6	-0.90
30	22/09/2016	10:00	48.6	48.5	0.10
31	26/09/2016	10:00	72	44	28.00
32	27/09/2016	10:00	50.8	42	8.80
33	28/09/2016	10:00	39.1	28.4	10.70
34	29/09/2016	10:00	46.1	28.9	17.20
35	30/09/2016	10:00	56.5	33.2	23.30

Tabla N°79: Registro de la turbiedad en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

4. El pH

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	ΔpH
1		10:00	7.20	7.44	0.24
2	03/05/2016	12:00	7.19	7.56	0.37
3	04/05/2016	10:00	7.01	7.49	0.48

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	Δ pH
4	05/05/2016	10:00	7.16	7.77	0.61
5	06/05/2016	10:00	7.15	7.86	0.71
6	10/05/2016	10:00	7.23	7.75	0.52
7	11/05/2016	10:00	7.16	7.84	0.68
8	12/05/2016	10:00	7.23	7.80	0.57
9	13/05/2016	10:00	7.40	7.87	0.47
10	17/05/2016	10:00	7.40	7.87	0.47
11	19/05/2016	10:00	7.15	7.56	0.41
12	20/05/2016	10:00	7.26	7.60	0.34
13	24/05/2016	10:00	7.25	7.77	0.52
14	25/05/2016	10:00	7.25	7.78	0.53
15	26/05/2016	10:00	7.31	7.71	0.40
16	27/05/2016	10:00	7.15	7.74	0.59
17	01/06/2016	10:00	6.81	7.26	0.45
18	03/06/2016	10:00	7.01	7.30	0.29
19	07/06/2016	10:00	7.00	7.31	0.31
20	08/06/2016	10:00	6.68	7.20	0.52
21	09/06/2016	10:00	6.80	7.26	0.46
22	10/06/2016	10:00	6.95	7.38	0.43
23	13/06/2016	10:00	6.94	7.37	0.43
24	14/06/2016	10:00	7.00	7.29	0.29
25	14/06/2016	12:00	7.00	7.32	0.32
26	15/06/2016	10:00	6.77	7.30	0.53
27	16/06/2016	10:00	6.88	7.21	0.33
28	21/06/2016	10:00	6.88	7.29	0.41
29	21/06/2016	12:00	6.86	7.32	0.46
30	22/06/2016	15:00	6.98	7.35	0.37
31	24/06/2016	10:00	6.92	7.37	0.45

Tabla N°80: Registro del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	Δ pH
1	30/06/2016	10:00	7.01	7.24	0.23
2	01/07/2016	10:00	6.93	7.24	0.31
3	05/07/2016	10:00	7.01	7.18	0.17
4	07/07/2016	10:00	7.01	7.20	0.19
5	08/07/2016	10:00	6.99	7.32	0.33
6	11/07/2016	10:00	7.15	7.28	0.13

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	Δ pH
7	12/07/2016	10:00	7.00	7.31	0.31
8	13/07/2016	10:00	7.00	7.31	0.31
9	13/07/2016	12:00	7.09	7.32	0.23
10	14/07/2016	10:00	7.00	7.25	0.25
11	15/07/2016	10:00	7.02	7.37	0.35
12	15/07/2016	12:00	7.18	7.21	0.03
13	18/07/2016	10:00	6.92	7.36	0.44
14	19/07/2016	10:00	7.04	7.08	0.04
15	20/07/2016	10:00	6.64	7.08	0.44
16	20/07/2016	12:00	6.91	7.28	0.37
17	01/08/2016	10:00	6.80	7.36	0.56
18	03/08/2016	10:00	6.82	7.22	0.40
19	04/08/2016	10:00	7.10	7.26	0.16
20	04/08/2016	12:00	6.85	7.39	0.54
21	08/08/2016	10:00	6.81	7.40	0.59

Tabla N°81: Registro del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	Δ pH
1	09/08/2016	10:00	7.02	7.22	0.20
2	10/08/2016	10:00	6.93	7.07	0.14
3	12/08/2016	10:00	7.63	7.77	0.14
4	12/08/2016	12:00	7.81	7.61	-0.20
5	12/08/2016	15:00	7.81	7.61	-0.20
6	15/08/2016	10:00	7.28	7.42	0.14
7	16/08/2016	10:00	7.38	7.40	0.02
8	19/08/2016	10:00	6.61	6.82	0.21
9	22/08/2016	10:00	6.78	6.87	0.09
10	23/08/2016	10:00	6.88	7.06	0.18
11	24/08/2016	10:00	6.86	6.99	0.13
12	25/08/2016	10:00	6.84	6.95	0.11
13	26/08/2016	10:00	6.88	6.95	0.07
14	29/08/2016	10:00	7.00	7.13	0.13
15	31/08/2016	10:00	7.17	7.14	-0.03
16	01/09/2016	10:00	6.81	5.92	-0.89
17	02/09/2016	10:00	6.97	6.99	0.02
18	05/09/2016	10:00	6.80	6.96	0.16

EL pH DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH					
N°	FECHA	HORA	ENTRADA	SALIDA	Δ pH
19	05/09/2016	12:00	6.69	7.02	0.33
20	06/09/2016	10:00	6.90	7.09	0.19
21	06/09/2016	12:00	6.60	6.74	0.14
22	07/09/2016	10:00	7.00	7.10	0.10
23	08/09/2016	10:00	6.76	6.88	0.12
24	09/09/2016	10:00	6.93	6.97	0.04
25	12/09/2016	10:00	6.70	6.98	0.28
26	13/09/2016	10:00	6.80	7.04	0.24
27	13/09/2016	12:00	7.01	7.11	0.10
28	14/09/2016	10:00	6.60	6.76	0.16
29	19/09/2016	10:00	6.88	7.01	0.13
30	19/09/2016	12:00	6.74	7.03	0.29
31	20/09/2016	10:00	6.86	7.01	0.15
32	21/09/2016	10:00	6.95	6.98	0.03
33	22/09/2016	10:00	6.94	7.09	0.15
34	23/09/2016	10:00	6.93	7.02	0.09
35	26/09/2016	10:00	6.69	7.06	0.37
36	27/09/2016	10:00	6.89	6.97	0.08
37	28/09/2016	10:00	6.78	6.81	0.03
38	29/09/2016	10:00	6.85	6.87	0.02
39	30/09/2016	10:00	6.75	6.88	0.13

Tabla N°82: Registro del pH en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

5. CONDUCTIVIDAD Y SDT

CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES A 5 DÍAS DE TRH								
N°	FECHA	HORA	CONDUCTIVIDAD (μ S/m-1)			SDT (ppm)		
			ENTR.	SALID.	EFICI.	ENTR.	SALID.	EFICI.
1	03/05/2016	10:00	1950	1440	26.15	1765	1263	28.44
2	03/05/2016	12:00	1436	1559	-8.57	1279	1314	-2.74
3	04/05/2016	10:00	1493	1459	2.28	1332	1287	3.38
4	05/05/2016	10:00	1433	1424	0.63	1328	1288	3.01
5	06/05/2016	10:00	1489	1452	2.48	1321	1287	2.57
6	10/05/2016	10:00	1468	1458	0.68	1301	1295	0.46
7	11/05/2016	10:00	1477	1449	1.90	1311	1299	0.92
8	12/05/2016	10:00	1443	1454	-0.76	1291	1276	1.16
9	13/05/2016	10:00	1461	1397	4.38	1297	1270	2.08
10	17/05/2016	10:00	1471	1451	1.36	1297	1290	0.54

CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES A 5 DÍAS DE TRH								
N°	FECHA	HORA	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$)			SDT (ppm)		
			ENTR.	SALID.	EFICI.	ENTR.	SALID.	EFICI.
11	19/05/2016	10:00	1501	1487	0.93	1334	1311	1.72
12	20/05/2016	10:00	1444	2368	-63.99	1283	2092	-63.06
13	24/05/2016	10:00	1535	1453	5.34	1406	1280	8.96
14	25/05/2016	10:00	1480	1497	-1.15	1324	1326	-0.15
15	26/05/2016	10:00	1443	1373	4.85	1283	1303	-1.56
16	27/05/2016	10:00	1454	1421	2.27	1282	1272	0.78
17	01/06/2016	10:00	1485	1465	1.35	1320	1295	1.89
18	01/06/2016	12:00	1478	1459	1.29	1318	1289	2.20
19	03/06/2016	10:00	1480	1474	0.41	1318	1406	-6.68
20	07/06/2016	10:00	1598	1476	7.63	1424	1300	8.71
21	08/06/2016	10:00	1598	1503	5.94	1405	1335	4.98
22	09/06/2016	10:00	1548	1481	4.33	1363	1224	10.20
23	10/06/2016	10:00	1548	1495	3.42	1361	1331	2.20
24	13/06/2016	10:00	1576	1467	6.92	1411	1298	8.01
25	14/06/2016	10:00	1616	1517	6.13	1439	1339	6.95
26	14/06/2016	12:00	1614	1502	6.94	1464	1319	9.90
27	15/06/2016	10:00	1675	1533	8.48	1484	1372	7.55
28	21/06/2016	10:00	1571	1567	0.25	1397	1395	0.14
29	21/06/2016	12:00	1572	1556	1.02	1386	1387	-0.07
30	22/06/2016	10:00	1529	1556	-1.77	1353	1382	-2.14
31	24/06/2016	10:00	1431	1531	-6.99	1296	1352	-4.32

Tabla N°83: Registro de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES A 3 DÍAS DE TRH								
N°	FECHA	HORA	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}^{-1}$)			SDT (ppm)		
			ENTR.	SALID.	EFICI.	ENTR.	SALID.	EFICI.
1	30/06/2016	10:00	2751	1474	46.42	2452	1310	46.57
2	01/07/2016	10:00	1463	1629	-11.35	1294	1442	-11.44
3	05/07/2016	10:00	1406	1426	-1.42	1243	1273	-2.41
4	07/07/2016	10:00	1504	1456	3.19	1346	1266	5.94
5	08/07/2016	10:00	1413	2202	-55.84	1256	1456	-15.92
6	11/07/2016	10:00	1676	1423	15.10	1475	1272	13.76
7	12/07/2016	10:00	1728	1448	16.20	1457	1288	11.60
8	13/07/2016	10:00	1536	1447	5.79	1372	1290	5.98
9	14/07/2016	10:00	1473	1453	1.36	1305	1291	1.07

10	15/07/2016	10:00	1471	1465	0.41	1300	1302	-0.15
11	15/07/2016	12:00	1525	1458	4.39	1356	1284	5.31
12	18/07/2016	10:00	1537	1493	2.86	1361	1326	2.57
13	19/07/2016	10:00	1527	1517	0.65	1356	1442	-6.34
14	20/07/2016	10:00	1435	1527	-6.41	1497	1353	9.62
15	20/07/2016	12:00	1567	1431	8.68	1392	1386	0.43
16	01/08/2016	10:00	1389	1385	0.29	1318	1226	6.98
17	03/08/2016	10:00	2460	1384	43.74	2219	1229	44.61
18	04/08/2016	10:00	1463	1385	5.33	1299	1222	5.93
19	04/08/2016	12:00	2145	1371	36.08	1895	1219	35.67
20	05/08/2016	10:00	1589	1391	12.46	1388	1237	10.88
21	08/08/2016	10:00	1473	1383	6.11	1385	1282	7.44

Tabla N°84: Registro de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

CONDUCTIVIDAD Y SOLIDOS DISUELTOS TOTALES A 1 DÍA DE TRH								
N°	FECHA	HOR A	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}-1$)			SDT (ppm)		
			ENTR.	SALID.	EFICI.	ENTR.	SALID.	EFICI.
1	09/08/2016	10:00	1578	1591	-0.82	1296	1236	4.63
2	10/08/2016	10:00	1402	1378	1.71	1236	1228	0.65
3	12/08/2016	10:00	1626	1346	17.22	1444	1192	17.45
4	12/08/2016	12:00	1320	1344	-1.82	1192	1187	0.42
5	15/08/2016	10:00	1256	1203	4.22	1120	1187	-5.98
6	16/08/2016	10:00	1282	1265	1.33	1155	1129	2.25
7	18/08/2016	10:00	1213	1088	10.31	1053	1216	-15.48
8	19/08/2016	10:00	1186	1074	9.44	1057	1215	-14.95
9	22/08/2016	10:00	1176	1304	-10.88	1042	1152	-10.56
10	23/08/2016	10:00	1193	1285	-7.71	1061	1102	-3.86
11	24/08/2016	10:00	1214	1199	1.24	1070	1071	-0.09
12	25/08/2016	10:00	1215	1221	-0.49	1079	1093	-1.30
13	26/08/2016	10:00	1202	1223	-1.75	1066	1080	-1.31
14	29/08/2016	10:00	1180	1183	-0.25	1054	1020	3.23
15	31/08/2016	10:00	1191	1206	-1.26	1051	1069	-1.71
16	01/09/2016	10:00	1129	1176	-4.16	1005	1043	-3.78
17	02/09/2016	10:00	1159	1164	-0.43	1027	1029	-0.19
18	05/09/2016	10:00	1179	1209	-2.54	1048	1043	0.48
19	05/09/2016	12:00	1321	1559	-18.02	1169	1038	11.21
20	06/09/2016	10:00	1199	1203	-0.33	1065	1064	0.09

CONDUCTIVIDAD Y SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES A 1 DÍA DE TRH								
N°	FECHA	HOR A	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S}/\text{m}-1$)			SDT (ppm)		
			ENTR.	SALID.	EFICI.	ENTR.	SALID.	EFICI.
21	06/09/2016	12:00	1202	1291	-7.40	1067	1097	-2.81
22	07/09/2016	10:00	1065	1163	-9.20	1102	1048	4.90
23	08/09/2016	10:00	1185	1318	-11.22	1067	1064	0.28
24	09/09/2016	10:00	1209	1201	0.66	1067	1064	0.28
25	12/09/2016	10:00	1264	1197	5.30	1158	1060	8.46
26	13/09/2016	10:00	1233	1274	-3.33	1073	1134	-5.68
27	13/09/2016	12:00	1241	1206	2.82	1101	1071	2.72
28	14/09/2016	10:00	1170	1206	-3.08	1101	1071	2.72
29	19/09/2016	10:00	1176	1231	-4.68	1049	1076	-2.57
30	19/09/2016	12:00	1177	1216	-3.31	1043	1076	-3.16
31	20/09/2016	10:00	1173	1186	-1.11	1045	1051	-0.57
32	21/09/2016	10:00	1167	1309	-12.17	1036	1143	-10.33
33	22/09/2016	10:00	1186	1162	2.02	1033	1156	-11.91
34	26/09/2016	10:00	1175	1130	3.83	1044	1004	3.83
35	27/09/2016	10:00	1122	1105	1.52	997	973	2.41
36	28/09/2016	10:00	1117	1131	-1.25	994	1001	-0.70
37	30/09/2016	10:00	1105	1124	-1.72	980	998	-1.84

Tabla N°85: Registro de la conductividad y los sdt en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

6. SÓLIDOS TOTALES (ST)

SÓLIDOS TOTALES DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SÓLIDOS TOTALES		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	09/05/2016	10:00	820.00	708.00	13.66
2	23/05/2016	10:00	648.00	708.00	-9.26
3	30/05/2016	10:00	868.00	708.00	18.43
4	06/06/2016	10:00	624.00	652.00	-4.49
5	13/06/2016	10:00	612.00	700.00	-14.38
6	20/06/2016	10:00	688.00	740.00	-7.56

Tabla N°86: Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS TOTALES DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SOLIDOS TOTALES		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	04/07/2016	10:00	668.00	672.00	-0.60
2	11/07/2016	10:00	668.00	560.00	16.17
3	18/08/2016	10:00	556.00	584.00	-5.04
4	02/08/2016	10:00	556.00	516.00	7.19
5	04/08/2016	10:00	556.00	556.00	0.00
6	08/08/2016	10:00	560.00	612.00	-9.29

Tabla N°87: Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SOLIDOS TOTALES DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SOLIDOS TOTALES		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	17/08/2016	10:00	612.00	632.00	-3.27
2	01/09/2016	10:00	568.00	572.00	-0.70
3	07/09/2016	10:00	636.00	512.00	19.50
4	15/09/2016	10:00	708.00	656.00	7.34
5	22/09/2016	10:00	756.00	640.00	15.34
6	26/09/2016	10:00	540.00	516.00	4.44

Tabla N°88: Registro de los sólidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

SST EN EL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SST		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	09/05/2016	10:00	84.00	28.00	66.67
2	23/05/2016	10:00	96.00	88.00	8.33
3	30/05/2016	10:00	176.00	58.00	67.05
4	06/06/2016	10:00	32.00	80.00	-150.00
5	13/06/2016	10:00	4.00	50.00	-1150.00
6	20/06/2016	10:00	428.00	184.00	57.01

Tabla N°89: Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SST EN EL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SST		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	04/07/2016	10:00	24.00	48.00	-100.00
2	11/07/2016	10:00	48.00	32.00	33.33
3	18/08/2016	10:00	4.00	24.00	-500.00
4	02/08/2016	10:00	28.00	32.00	-14.29
5	04/08/2016	10:00	76.00	32.00	57.89
6	08/08/2016	10:00	396.00	324.00	18.18

Tabla N°90: Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SST EN EL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SST		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	17/08/2016	10:00	444.00	348.00	21.62
2	01/09/2016	10:00	240.00	164.00	31.67
3	07/09/2016	10:00	280.00	176.00	37.14
4	15/09/2016	10:00	260.00	244.00	6.15
5	22/09/2016	10:00	284.00	312.00	-9.86
6	26/09/2016	10:00	184.00	136.00	26.09

Tabla N°91: Registro de los sólidos suspendidos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

8. SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)

SVT EN EL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SVT		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	09/05/2016	10:00	160.00	160.00	0.00
2	23/05/2016	10:00	264.00	212.00	19.70
3	30/05/2016	10:00	384.00	272.00	29.17
4	06/06/2016	10:00	212.00	220.00	-3.77
5	13/06/2016	10:00	176.00	236.00	-34.09
6	20/06/2016	10:00	36.00	90.00	-150.00

Tabla N°92: Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SVT EN EL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SVT		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	04/07/2016	10:00	456.00	436.00	4.39
2	11/07/2016	10:00	276.00	252.00	8.70
3	18/08/2016	10:00	16.00	232.00	-1350.00
4	02/08/2016	10:00	272.00	148.00	45.59
5	04/08/2016	10:00	160.00	264.00	-65.00
6	08/08/2016	10:00	16.00	76.00	-375.00

Tabla N°93: Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SVT EN EL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SVT		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	17/08/2016	10:00	48.00	28.00	41.67
2	01/09/2016	10:00	32.00	16.00	50.00
3	07/09/2016	10:00	64.00	56.00	12.50
4	15/09/2016	10:00	40.00	28.00	30.00
5	22/09/2016	10:00	108.00	40.00	62.96
6	26/09/2016	10:00	44.00	32.00	27.27

Tabla N°94: Registro de los sólidos volátiles totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

9. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

SDT EN EL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SDT		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	09/05/2016	10:00	736.00	680.00	7.61
2	23/05/2016	10:00	552.00	620.00	-12.32
3	30/05/2016	10:00	692.00	650.00	6.07
4	06/06/2016	10:00	592.00	650.00	-9.80

5	13/06/2016	10:00	608.00	650.00	-6.91
6	20/06/2016	10:00	652.00	650.00	0.31

Tabla N°95: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

SDT EN EL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SDT		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	04/07/2016	10:00	644.00	624.00	3.11
2	11/07/2016	10:00	620.00	528.00	14.84
3	18/08/2016	10:00	552.00	560.00	-1.45
4	02/08/2016	10:00	528.00	484.00	8.33
5	04/08/2016	10:00	480.00	524.00	-9.17
6	08/08/2016	10:00	544.00	536.00	1.47

Tabla N°96: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

SDT EN EL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	SDT		REMOCIÓN (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	17/08/2016	10:00	564.00	604.00	-7.09
2	01/09/2016	10:00	536.00	556.00	-3.73
3	07/09/2016	10:00	572.00	456.00	20.28
4	15/09/2016	10:00	668.00	628.00	5.99
5	22/09/2016	10:00	648.00	600.00	7.41
6	26/09/2016	10:00	496.00	484.00	2.42

Tabla N°97: Registro de los sólidos disueltos totales en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

10. NITRATOS

NITRATOS DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	NITRATO		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	10/05/2016	10:00	7.7	4.6	40.26

2	19/05/2016	10:00	5.0	0.2	96.00
3	24/05/2016	10:00	6.0	3.4	43.33
4	01/06/2016	10:00	11.9	1.4	88.24
5	03/06/2016	10:00	4.8	4.5	6.25
6	07/06/2016	10:00	22.0	8.0	63.64
7	08/06/2016	10:00	18.6	0.5	97.31
8	09/06/2016	10:00	32.2	5.3	83.54
9	14/06/2016	10:00	29.9	5.8	80.60
10	15/06/2016	10:00	17.7	3.9	77.97
11	21/06/2016	10:00	19.3	6.1	68.39
12	22/06/2016	10:00	22.0	7.9	63.64
13	24/06/2016	10:00	15.0	7.0	53.33
14	28/06/2016	10:00	25.3	6.0	76.28

Tabla N°98: Registro de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

NITRATOS DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	NITRATO		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	30/06/2016	10:00	11.9	1.2	89.92
2	01/07/2016	10:00	17.4	15.5	10.92
3	07/07/2016	10:00	21.1	10.8	48.82
4	12/07/2016	10:00	23.1	15.3	33.77
5	14/07/2016	10:00	23.2	20	13.79
6	19/07/2016	10:00	21.9	8.5	61.19
7	20/07/2016	10:00	3.4	2.4	29.41
8	21/07/2016	10:00	16	13.3	16.88

Tabla N°99: Registro de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

NITRATOS DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	NITRATO		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	07/09/2016	10:00	18.1	16.1	11.05
2	13/09/2016	10:00	27.3	22.5	17.58
3	19/09/2016	10:00	23.4	20.3	13.25
4	20/09/2016	10:00	8.1	6.8	16.05
5	21/09/2016	10:00	15.6	11	29.49
6	23/09/2016	10:00	17.7	15.3	13.56
7	27/09/2016	10:00	19.8	16.9	14.65

8	28/09/2016	10:00	22.9	19	17.03
9	29/09/2016	10:00	20.2	18.4	8.91
10	30/09/2016	10:00	24.2	18.1	25.21

Tabla N°100: Registro de los nitratos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

11. NITRITOS

NITRITOS DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	NITRITO		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	10/05/2016	10:00	15.0	8.0	46.67
2	19/05/2016	10:00	22.0	4.0	81.82
3	24/05/2016	10:00	8.0	0.4	95.00
4	26/05/2016	10:00	8.0	13.0	-62.50
6	01/06/2016	10:00	18.0	6.0	66.67
7	03/06/2016	10:00	17.0	10.0	41.18
8	07/06/2016	10:00	6.0	5.0	16.67
9	08/06/2016	10:00	7.0	5.0	28.57
10	09/06/2016	10:00	6.0	2.0	66.67
11	10/06/2016	10:00	5.0	6.0	-20.00
12	14/06/2016	10:00	7.0	5.0	28.57
13	15/06/2016	10:00	11.0	7.0	36.36
14	21/06/2016	10:00	11.0	7.0	36.36
15	22/06/2016	10:00	7.0	3.0	57.14
16	24/06/2016	10:00	7.0	5.0	28.57
17	28/06/2016	10:00	6.0	2.0	66.67

Tabla N°101: Registro de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

NITRITOS DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	NITRITO		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	30/06/2016	10:00	6.0	5.0	16.67
2	01/07/2016	10:00	5.0	5.0	0.00
3	05/07/2016	10:00	5.0	4.0	20.00
4	07/07/2016	10:00	5.0	3.0	40.00
6	12/07/2016	10:00	6.0	1.0	83.33
7	14/07/2016	10:00	7.0	6.0	14.29
8	19/07/2016	10:00	6.0	3.0	50.00

9	20/07/2016	10:00	7.0	4.0	42.86
10	21/07/2016	10:00	7.0	3.0	57.14

Tabla N°102: Registro de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

NITRITOS DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	NITRITO		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	02/09/2016	10:00	5.0	5.0	0.00
2	06/09/2016	10:00	7.0	4.0	42.86
3	07/09/2016	10:00	8.0	5.0	37.50
4	09/09/2016	10:00	7.0	8.0	-14.29
6	13/09/2016	10:00	7.0	5.0	28.57
7	19/09/2016	10:00	8.0	5.0	37.50
8	20/09/2016	10:00	7.0	5.0	28.57
9	21/09/2016	10:00	6.0	5.0	16.67
10	22/09/2016	10:00	6.0	5.0	16.67
11	23/09/2016	10:00	6.0	5.0	16.67
12	26/09/2016	10:00	7.0	6.0	14.29
13	27/09/2016	10:00	5.0	4.0	20.00
14	28/09/2016	10:00	5.0	5.0	0.00
15	29/09/2016	10:00	12.0	1.0	91.67
16	30/09/2016	10:00	5.0	3.0	40.00

Tabla N°103: Registro de los nitritos en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

12. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

DBO ₅ DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DBO ₅		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	25/05/2016	10:00	82.24	38.97	52.61
2	01/06/2016	10:00	73.43	26.24	64.27
3	08/06/2016	10:00	81.36	48.50	40.39
4	15/06/2016	10:00	108.38	45.31	58.19
5	22/06/2016	10:00	126.08	35.05	72.20
6	28/06/2016	10:00	84.60	36.08	57.35

Tabla N°104: Registro de la DBO₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

DBO ₅ DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DBO ₅		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	06/07/2016	10:00	82.00	41.52	49.37
2	13/07/2016	10:00	74.11	25.55	65.52
3	18/07/2016	10:00	86.13	65.75	23.66
4	02/08/2016	10:00	66.86	57.79	13.57
5	04/08/2016	10:00	102.86	36.41	64.60
6	08/08/2016	10:00	84.34	35.68	57.70

Tabla N°105: Registro de la DBO₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

DBO ₅ DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DBO ₅		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	17/08/2016	10:00	94.60	69.02	27.04
2	24/08/2016	10:00	229.00	99.23	56.67
3	01/09/2016	10:00	96.23	68.32	29.00
4	05/09/2016	10:00	104.76	57.79	44.84
5	12/09/2016	10:00	93.24	48.48	48.01
6	15/09/2016	10:00	80.33	43.74	45.55
7	22/09/2016	10:00	78.47	39.965	49.07
8	26/09/2016	10:00	105.07	68.83	34.49

Tabla N°106: Registro de la DBO₅ en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

13. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL (DQO_{total})

DQO total DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DQO total		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	06/05/2016	10:00	264	197	25.38
2	10/05/2016	10:00	234	188	19.66
3	13/05/2016	10:00	150	124	17.33
4	13/05/2016	12:00	220	118	46.36
5	20/05/2016	10:00	220	118	46.36
6	24/05/2016	10:00	277	143	48.38
7	26/05/2016	10:00	237	156	34.18
8	01/06/2016	10:00	291	179	38.49
9	03/06/2016	10:00	212	179	15.57
10	07/06/2016	10:00	244	156	36.07

11	08/06/2016	10:00	246	167	32.11
12	10/06/2016	10:00	255	161	36.86
13	14/06/2016	10:00	247	162	34.41
14	15/06/2016	10:00	288	178	38.19
15	20/06/2016	10:00	306	166	45.75
16	22/06/2016	10:00	296	187	36.82
17	24/06/2016	10:00	237	168	29.11
18	28/06/2016	10:00	222	162	27.03

Tabla N°107: Registro de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

DQOtotal DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DQO total		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	30/06/2016	10:00	257	174	32.30
2	01/07/2016	10:00	231	177	23.38
3	04/07/2016	10:00	208	177	14.90
4	07/07/2016	10:00	236	159	32.63
5	08/07/2016	10:00	212	160	24.53
6	12/07/2016	10:00	185	124	32.97
7	13/07/2016	10:00	244	164	32.79
8	15/07/2016	10:00	226	166	26.55
9	18/07/2016	10:00	190	157	17.37
10	20/07/2016	10:00	228	165	27.63
11	01/08/2016	10:00	197	136	30.96
12	02/08/2016	10:00	163	136	16.56
13	03/08/2016	10:00	378	159	57.94
14	05/08/2016	10:00	148	209	-41.22
15	08/08/2016	10:00	180	142	21.11

Tabla N°108: Registro de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

DQOtotal DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DQO total		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	12/08/2016	10:00	170	141	17.06
2	16/08/2016	10:00	196	156	20.41
3	18/08/2016	10:00	82	76	7.32
4	19/08/2016	10:00	189	171	9.52

5	23/08/2016	10:00	184	146	20.65
6	26/08/2016	10:00	172	148	13.95
7	31/08/2016	10:00	178	162	8.99
8	02/09/2016	10:00	164	139	15.24
9	05/09/2016	10:00	199	145	27.14
10	07/09/2016	10:00	187	147	21.39
11	08/09/2016	10:00	170	157	7.65
12	09/09/2016	10:00	213	140	34.27
13	12/09/2016	10:00	213	140	34.27
14	14/09/2016	10:00	169	128	24.26
15	20/09/2016	10:00	215	127	40.93
16	20/09/2016	12:00	179	140	21.79
17	21/09/2016	10:00	170	139	18.24
18	23/09/2016	10:00	189	160	15.34
19	26/09/2016	10:00	170	141	17.06
20	27/09/2016	10:00	154	138	10.39
21	28/09/2016	10:00	156	118	24.36
22	29/09/2016	10:00	194	172	11.34

Tabla N°109: Registro de la DQO en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

14. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE (DQOsoluble)

DQOsoluble DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DQO soluble		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	06/05/2016	10:00	208	144	30.77
2	10/05/2016	10:00	198	147	25.76
3	13/05/2016	10:00	128	89	30.47
4	13/05/2016	12:00	157	89	43.31
5	20/05/2016	10:00	157	89	43.31
6	24/05/2016	10:00	202	108	46.53
7	26/05/2016	10:00	155	99	36.13
8	01/06/2016	10:00	232	126	45.69
9	03/06/2016	10:00	176	108	38.64
10	07/06/2016	10:00	184	125	32.07
11	08/06/2016	10:00	184	125	32.07
12	10/06/2016	10:00	189	102	46.03
13	14/06/2016	10:00	211	122	42.18
14	15/06/2016	10:00	224	118	47.32
15	20/06/2016	10:00	232	135	41.81

16	22/06/2016	10:00	212	139	34.43
17	24/06/2016	10:00	167	116	30.54
18	28/06/2016	10:00	168	104	38.10

Tabla N°110: Registro de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

DQO soluble DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DQO soluble		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	30/06/2016	10:00	181	108	40.33
2	01/07/2016	10:00	163	125	23.31
3	04/07/2016	10:00	155	140	9.68
4	07/07/2016	10:00	161	105	34.78
5	08/07/2016	10:00	168	128	23.81
6	12/07/2016	10:00	158	89	43.67
7	13/07/2016	10:00	173	125	27.75
8	15/07/2016	10:00	151	121	19.87
9	18/07/2016	10:00	157	125	20.38
10	20/07/2016	10:00	172	129	25.00
11	01/08/2016	10:00	143	93	34.97
12	02/08/2016	10:00	96	97	-1.04
13	03/08/2016	10:00	183	104	43.17
14	05/08/2016	10:00	165	103	37.58
15	08/08/2016	10:00	169	125	26.04

Tabla N°111: Registro de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

DQO soluble DEL AGUA RESIDUAL A 1 DÍA DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	DQO soluble		EFICIENCIA (%)
			ENTRADA	SALIDA	
1	12/08/2016	10:00	146	131	10.27
2	16/08/2016	10:00	130	109	16.15
3	18/08/2016	10:00	57	33	42.11
4	19/08/2016	10:00	117	99	15.38
5	23/08/2016	10:00	115	104	9.57
6	26/08/2016	10:00	104	87	16.35
7	31/08/2016	10:00	119	116	2.52
8	02/09/2016	10:00	84	90	-7.14
9	05/09/2016	10:00	140	95	32.14

10	07/09/2016	10:00	132	99	25.00
11	08/09/2016	10:00	117	103	11.97
12	09/09/2016	10:00	139	92	33.81
13	12/09/2016	10:00	139	92	33.81
14	14/09/2016	10:00	97	84	13.40
15	20/09/2016	10:00	150	99	34.00
16	20/09/2016	12:00	132	106	19.70
17	21/09/2016	10:00	121	118	2.48
18	23/09/2016	10:00	121	116	4.13
19	26/09/2016	10:00	112	110	1.79
20	27/09/2016	10:00	113	106	6.19
21	28/09/2016	10:00	105	91	13.33
22	29/09/2016	10:00	170	121	28.82

Tabla N°112: Registro de la DQO soluble en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

15. OXÍGENO DISUELTO (OD)

OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA RESIDUAL A 5 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	OXÍGENO DISUELTO		DIFERENCIA
			ENTRADA	SALIDA	
1	04/05/2016	10:00	0.24	0.14	-0.10
2	10/05/2016	10:00	0.19	0.11	-0.08
3	19/05/2016	10:00	0.30	0.26	-0.04
4	19/05/2016	12:00	0.12	0.39	0.27
5	20/05/2016	10:00	0.38	0.31	-0.07
6	24/05/2016	10:00	0.20	0.13	-0.07
7	25/05/2016	10:00	0.12	0.30	0.18
8	26/05/2016	10:00	0.35	0.03	-0.32
9	27/05/2016	10:00	0.16	0.16	0.00
10	07/06/2016	10:00	0.23	0.31	0.08
11	07/06/2016	12:00	0.18	0.15	-0.03
12	10/06/2016	10:00	0.12	0.26	0.14
13	13/06/2016	10:00	0.11	0.19	0.08
14	14/06/2016	10:00	0.14	0.18	0.04
15	14/06/2016	12:00	0.13	0.12	-0.01
16	15/06/2016	10:00	0.15	0.24	0.10
17	15/06/2016	12:00	0.62	0.24	-0.38
18	15/06/2016	15:00	0.16	0.09	-0.07
19	20/06/2016	10:00	0.12	0.37	0.25
20	21/06/2016	10:00	0.24	0.34	0.10

21	21/06/2016	12:00	0.26	0.22	-0.04
22	22/06/2016	10:00	0.19	0.19	0.00
23	24/06/2016	10:00	0.26	0.17	-0.09

Tabla N°113: Registro del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 5 días de TRH. (Fuente propia)

OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA RESIDUAL A 3 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	OXÍGENO DISUELTO		DIFERENCIA
			ENTRADA	SALIDA	
1	30/06/2016	10:00	0.19	0.35	0.16
2	30/06/2016	12:00	0.24	0.26	0.02
3	01/07/2016	10:00	0.15	0.14	-0.01
4	04/07/2016	10:00	0.17	0.4	0.23
5	05/07/2016	10:00	0.16	0.17	0.01
6	07/07/2016	10:00	0.12	0.16	0.04
7	08/07/2016	10:00	0.15	0.4	0.25
8	11/07/2016	10:00	0.13	0.37	0.24
9	11/07/2016	12:00	0.13	0.32	0.19
10	13/07/2016	10:00	0.11	0.14	0.03
11	14/07/2016	10:00	0.16	0.33	0.17
12	15/07/2016	10:00	0.13	0.21	0.08
13	15/07/2016	12:00	0.14	0.39	0.25
14	18/07/2016	10:00	0.13	0.22	0.09
15	19/07/2016	10:00	0.22	0.41	0.19
16	20/07/2016	10:00	0.21	0.54	0.33
17	20/07/2016	12:00	0.18	0.2	0.02
18	21/07/2016	10:00	0.15	0.2	0.05
19	03/08/2016	10:00	0.28	0.25	-0.03
20	04/08/2016	10:00	0.15	0.19	0.04
21	04/08/2016	12:00	0.13	0.11	-0.02
22	05/08/2016	10:00	0.27	0.17	-0.1
23	08/08/2016	10:00	0.12	0.1	-0.02

Tabla N°114: Registro del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 3 días de TRH. (Fuente propia)

OXÍGENO DISUELTO DEL AGUA RESIDUAL 1 DÍAS DE TRH (PPM)					
N°	FECHA	HORA	OXÍGENO DISUELTO		DIFERENCIA
			ENTRADA	SALIDA	
1	09/08/2016	10:00	0.37	0.23	-0.14

2	10/08/2016	10:00	0.42	0.28	-0.14
3	13/08/2016	10:00	0.24	0.16	-0.08
4	13/08/2016	12:00	0.28	0.17	-0.11
5	15/08/2016	10:00	0.3	0.23	-0.07
6	16/08/2016	10:00	0.29	0.34	0.05
7	18/08/2016	10:00	0.2	0.36	0.16
8	22/08/2016	10:00	0.26	0.32	0.06
9	23/08/2016	10:00	0.22	0.17	-0.05
10	24/08/2016	10:00	0.39	0.28	-0.11
11	25/08/2016	10:00	0.26	0.42	0.16
12	29/08/2016	10:00	0.2	0.51	0.31
13	31/08/2016	10:00	0.15	0.26	0.11
14	01/09/2016	10:00	0.22	0.61	0.39
15	05/09/2016	10:00	0.2	0.57	0.37
16	05/09/2016	10:00	0.15	0.28	0.13
17	06/09/2016	10:00	0.44	0.67	0.23
18	08/09/2016	10:00	0.33	0.22	-0.11
19	09/09/2016	10:00	0.37	0.68	0.31
20	12/09/2016	10:00	0.18	0.32	0.14
21	13/09/2016	10:00	0.18	0.49	0.31
22	13/09/2016	12:00	0.3	0.17	-0.13
23	14/09/2016	10:00	0.13	0.33	0.2
24	19/09/2016	10:00	0.19	0.23	0.04
25	19/09/2016	10:00	0.22	0.2	-0.02
26	20/09/2016	10:00	0.13	0.27	0.14
27	21/09/2016	10:00	0.18	0.18	0
28	22/09/2016	10:00	0.13	0.14	0.01
29	23/09/2016	10:00	0.24	0.51	0.27
30	26/09/2016	10:00	0.23	0.23	0
31	27/09/2016	10:00	0.14	0.14	0
32	28/09/2016	10:00	0.2	0.28	0.08
33	29/09/2016	10:00	0.05	0.44	0.39
34	30/09/2016	10:00	0.19	0.49	0.3

Tabla N°115: Registro del oxígeno disuelto en el afluente y efluente del humedal artificial durante el periodo de investigación a 1 día de TRH. (Fuente propia)

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 8: Tanque de almacenamiento de 1100 L y dispositivo regulador de caudal.
(Fuente propia)



Figura 9: A tres semanas de iniciado el arranque del sistema.



Figura 10: A seis semanas de iniciado el arranque del sistema.



Figura 11: Brote de nuevas raíces de la macrófita.

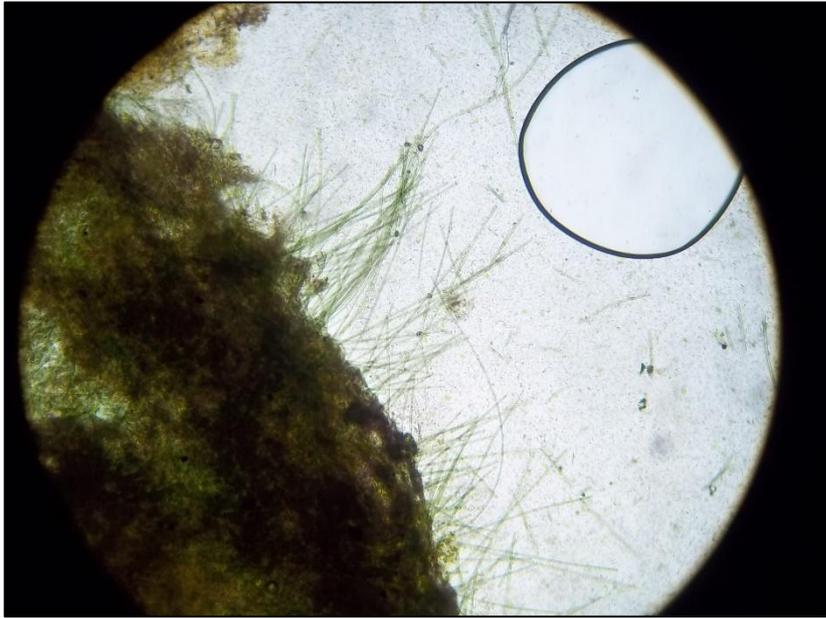


Figura 12: Presencia de algas en el humedal artificial.

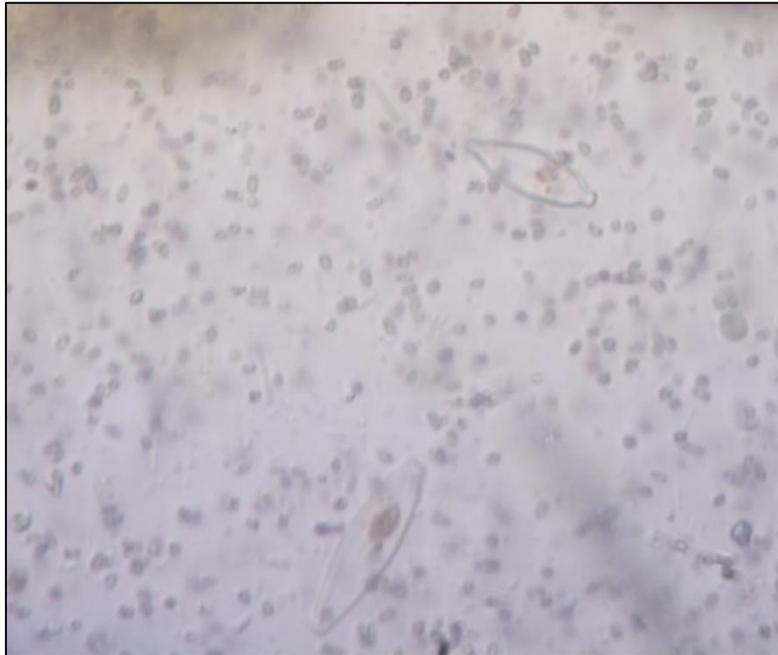


Figura 13: Presencia de protozoarios en el humedal artificial



Figura 14: Presencia de protozoarios en el humedal artificial.