

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“USO DEL FILTRO LENTO DE ARENA PARA LA REMOCIÓN
DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES PRESENTES EN
LOS DESAGÜES DOMÉSTICOS PRETRATADOS”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO

ELABORADO POR:

MEZA PINEDO MICHELD

ASESOR:

ING. OTTO BRUNO ROSASCO GERKES

LIMA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han inculcado siempre, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Es un orgullo y privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos, por brindarme su amor, paciencia, confianza y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Otto Rosasco Gerkes, por brindarme su apoyo incondicional y asesoramiento constante durante la realización de la presente tesis de investigación.

A la directora del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos, Dra. Ing. Rosa Elena Yaya Beas, por permitirme realizar la presente tesis de investigación en las instalaciones de CITRAR-UNI.

A Mali Salas Depaz, por su apoyo incondicional en el mantenimiento y monitoreo de los FLA Piloto

A Manuel Romero Mananí, personal de mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la UNI-CITRAR, por su apoyo en la construcción de los FLA Piloto.

Al Laboratorio de Investigación del Agua (LIA) de la Facultad de Ingeniería Ambiental UNI por haberme facilitado materiales y equipos para los ensayos de DBO, SST y Coliformes Termotolerantes.

RESUMEN

En la presente tesis de investigación se tuvo como objetivo principal evaluar la eficiencia del uso de filtración lenta en arena para la remoción de coliformes termotolerantes presentes en las aguas residuales domésticas pretratadas.

El montaje experimental consistió en la construcción de tres filtros lentos de arena en paralelo, de flujo continuo y distinta granulometría, el diámetro de los granos del medio filtrante de los filtros lentos de arena FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 estuvieron entre (0.297 - 0.595 mm), (0.707 - 1.19 mm) y (1.41 - 2.38 mm) respectivamente.

En el desarrollo de esta investigación los filtros lentos de arena piloto (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3) realizaron cuatro carreras de filtración, durante la primera y segunda carrera de filtración trabajaron como sistema de tratamiento primario y durante la tercera y cuarta carrera de filtración trabajaron como sistema de tratamiento secundario. En todas las carreras de filtración se mantuvo las mismas características del medio filtrante de cada FLA piloto, pero se varió la tasa superficial, de mayor a menor, con ello aumento el tiempo de retención hidráulico y mejoro la eficiencia de los FLA piloto en la remoción de los parámetros evaluados.

Los filtros lentos de arena (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), han demostrado tener una capacidad de remoción de los coliformes termotolerantes promedio de 3.73, 3.78 y 3.41 unidades logarítmicas, con tasas superficiales de 0.002619 m³/m².h, 0.005239 m³/m².h y 0.005239 m³/m².h, tiempos de retención hidráulico de 46.45h, 37.45h y 31.15 h respectivamente.

Los efluentes de los filtros lentos de arena (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), en la tercera y cuarta carrera de filtración cumplen con la normativa de los LMP para efluentes de PTAR para la temperatura (<35°C), pH (6.5-8.5), DBO (<100 mg/L), sólidos totales en suspensión (<150 mg/L) y coliformes termotolerantes (<10⁴ NMP/100mL).

ABSTRACT

The main objective of this research thesis was to evaluate the efficiency of the use of slow filtration in sand for the removal of thermotolerant coliforms present in pretreated domestic wastewater.

The experimental assembly consisted of the construction of three parallel slow sand filters, of continuous flow and different granulometry, the diameter of the grains of the medium filter of the slow sand filters FLA N°1, FLA N°2 and FLA N°3 were between (0.297 - 0.595 mm), (0.707 - 1.19 mm) and (1.41 – 2.38 mm) respectively.

In the development of this research the slow sand filters pilot (FLA N°1, FLA N°2 and FLA N°3) carried out four filtration runs, during the first and second filtration runs they worked as a primary treatment system and during the third and fourth filtration runs, they worked as a secondary treatment system. In all filtration runs the same characteristics of the filter medium of each pilot FLA were maintained, but the surface rate was varied, from higher to lower, thus increasing the hydraulic retention time and improving the efficiency of the pilot FLAs in the removal of the evaluated parameters.

Slow sand filters (FLA N°1, FLA N°2 and FLA N°3), have been shown to have an average capacity for removal of thermotolerant coliforms of 3.73, 3.78 and 3.41 logarithmic units, with surface rates of 0.002619 m³/m².h, 0.005239 m³/m².h and 0.005239 m³/m².h, hydraulic retention times of 46.45h, 37.45h and 31.15 h respectively.

The effluents of slow sand filters (FLA N°1, FLA N°2 and FLA N°3), in the third and fourth filtration strokes comply with the standards of the LMP for PTAR effluents for temperature (<35°C), pH (6.5-8.5), total suspended solids (<150 mg/L) and thermotolerant coliforms (10⁴ NMP/100ml).

INDICE

1. CAPITULO I	14
INTRODUCCIÓN	14
2. CAPÍTULO II	15
ANTECEDENTES	15
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
2.1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	17
2.2 OBJETIVO PRINCIPAL	17
2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS	17
2.4 HIPÓTESIS	18
2.5 VARIABLES DE ESTUDIO	18
2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES	18
2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES	18
2.5.3 VARIABLE INTERVINIENTE	19
2.6 MARCO LEGAL	19
2.6.1. ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ 19	
3. CAPITULO III	20
MARCO TEÓRICO	20
3.1. FILTRACIÓN LENTA ARENA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	20
3.1.1. FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO LENTO DE ARENA	21
3.1.2. MECANISMOS DE REMOCIÓN EN LOS FILTROS LENTOS DE ARENA	22
3.1.3. MECANISMOS DE TRANSPORTE EN LOS FILTROS LENTOS DE ARENA	23
3.1.4. MECANISMO BIOLÓGICO	25
3.1.5. FACTORES QUE MODIFICAN LA EFICIENCIA DEL FILTRO LENTO DE ARENA	26
4. CAPITULO IV	30
MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1 UBICACIÓN DE LOS FILTROS LENTO DE ARENA PILOTO ...	30
4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EXPERIMENTAL	30
4.3 PRE-TRATAMIENTO	31

4.4	TANQUE PRESEDIMENTADOR	32
4.5	FILTROS LENTOS DE ARENA PILOTO	35
4.5.1	TUBERÍA DE REBOSE DE LOS FLA PILOTO	35
4.5.2	SISTEMA DE DRENAJE Y LECHO DE SOPORTE	36
4.5.3	LECHO FILTRANTE	37
4.6	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL EFLUENTE DEL FLA	40
4.7	PRUEBA HIDRÁULICA	40
4.8	PUESTA EN MARCHA DE LOS FLA	40
4.9	AFORO DEL AFLUENTE DE LOS FLA PILOTO	41
4.10	LABORES DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE LA PTAR PILOTO	41
4.10.1	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE LOS FLA PILOTO	42
4.11	CONTROL DE VECTORES	43
4.12	DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO	44
4.13	PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL	44
4.14	CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL	45
4.15	PARÁMETROS EVALUADOS	46
4.16	PERIODOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	46
5.	CAPITULO V	48
	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	48
5.1.	DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS FILTROS LENTOS PILOTO.	48
	48	
5.2.	DE LA MADURACIÓN DE LA CAPA BIOLÓGICA	48
5.3.	DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS	51
6.	CAPÍTULO VI	53
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
6.1	TASA SUPERFICIAL Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO DE LOS FLA PILOTO.	53
6.2	TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO (°C)	55
6.3	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	57
6.4	OXÍGENO DISUELTO (OD mg/L)	59
6.5	TURBIEDAD	61
6.6	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST MG/L)	64
6.7	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅ mg/L)	67
6.8	Coliformes termotolerantes	70

7. CAPITULO VII	79
CONCLUSIONES	79
8. CAPITULO VIII	81
RECOMENDACIONES	81
9. CAPITULO IX	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
10. CAPITULO X	86
ANEXOS	86
10.1 ANEXO 1: MARCO LEGAL.....	86
10.2 ANEXO 2: TABLA DE COLIFORMES.....	87
10.3 ANEXO 3: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LAS CUATRO CARRERAS DE FILTRACIÓN.....	89
10.4 ANEXO 4: PANEL FOTOGRÁFICO.....	111

Índice de Gráficos

<i>Gráfico N° 1 Curva Granulométrica de la arena de las 4 muestras.</i>	40
<i>Gráfico N° 2 Tasas superficiales, Caudales de ingreso y TRH del FLA N°1 durante las cuatro carreras de filtración de esta investigación.</i>	53
<i>Gráfico N° 3 Tasas superficiales, Caudales de ingreso y TRH del FLA N°2 durante las cuatro carreras de filtración de esta investigación.</i>	54
<i>Gráfico N° 4 Tasas superficiales, Caudales de ingreso y TRH del FLA N°3 durante las cuatro carreras de filtración de esta investigación.</i>	54
<i>Gráfico N° 5 Variación de la temperatura en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.</i>	56
<i>Gráfico N° 6 Variación del pH en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.</i>	58
<i>Gráfico N° 7 Variación del OD en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.</i>	60
<i>Gráfico N° 8 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.</i>	62
<i>Gráfico N° 9 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante las cuatro carreras de filtración.</i>	63
<i>Gráfico N° 10 Variación de loa SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.</i>	65
<i>Gráfico N° 11 Eficiencia de remoción de los SST mg/l del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.</i>	66
<i>Gráfico N° 12 Variación de la DBO5 mg/L en los puntos de muestreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.</i>	68
<i>Gráfico N° 13 Eficiencia de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.</i>	69

Gráfico N° 14 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los puntos de muestreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.	71
Gráfico N° 15 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logarítmicamente, en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.....	72
Gráfico N° 16 Remoción de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.	73
Gráfico N° 17 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración.....	89
Gráfico N° 18 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.....	89
Gráfico N° 19 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.....	90
Gráfico N° 20 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.	90
Gráfico N° 21 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración	91
Gráfico N° 22 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración	91
Gráfico N° 23 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración	92
Gráfico N° 24 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.....	92
Gráfico N° 25 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración.	93
Gráfico N° 26 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.	93
Gráfico N° 27 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.	94
Gráfico N° 28 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.....	94
Gráfico N° 29 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración	95
Gráfico N° 30 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.	95
Gráfico N° 31 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.	96
Gráfico N° 32 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.....	96
Gráfico N° 33 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la primera carrera de filtración.	97
Gráfico N° 34 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la segunda carrera de filtración.	97
Gráfico N° 35 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la tercera carrera de filtración.	98

Gráfico N° 36 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la cuarta carrera de filtración.....	98
Gráfico N° 37 Variación de loa SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.	99
Gráfico N° 38 Variación de loa SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.	99
Gráfico N° 39 Variación de loa SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.....	100
Gráfico N° 40 Variación del porcentaje de remoción de los SST mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda carrera de filtración.....	100
Gráfico N° 41 Variación del porcentaje de remoción de los SST mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la tercera carrera de filtración.....	101
Gráfico N° 42 Variación del porcentaje de remoción de los SST mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración.....	101
Gráfico N° 43 Variación de la DBO5 mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.	102
Gráfico N° 44 Variación de la DBO5 mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.	102
Gráfico N° 45 Variación de la DBO5 mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.....	103
Gráfico N° 46 Variación del porcentaje de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda carrera de filtración.....	103
Gráfico N° 47 Variación del porcentaje de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la tercera carrera de filtración.....	104
Gráfico N° 48 Variación del porcentaje de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración.....	104
Gráfico N° 49 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la segunda carrera de filtración.	105
Gráfico N° 50 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la tercera carrera de filtración.	105
Gráfico N° 51 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la cuarta carrera de filtración.	106
Gráfico N° 52 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logarítmicamente, en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la segunda carrera de filtración.	106
Gráfico N° 53 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logarítmicamente, en los 5	

<i>puntos de monitoreo de esta investigación durante la tercera carrera de filtración.....</i>	<i>107</i>
<i>Gráfico N° 54 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logarítmicamente, en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la cuarta carrera de filtración.....</i>	<i>107</i>
<i>Gráfico N° 55 Remoción Logarítmica de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración de los FLA piloto.....</i>	<i>108</i>
<i>Gráfico N° 56 Remoción Logarítmica de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la tercera carrera de filtración de los FLA piloto.....</i>	<i>109</i>
<i>Gráfico N° 57 Remoción Logarítmica de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración de los FLA piloto.....</i>	<i>110</i>

Índice de Fotografías

<i>Fotografía N° 1 Caja de Concreto de donde se bombeo el agua residual pretratada hacia el presedimentador de la PTAR Piloto.....</i>	<i>32</i>
<i>Fotografía N° 2 Tanque ecualizador (A) y sistema de regulación de caudal del FLA (B).....</i>	<i>34</i>
<i>Fotografía N° 3 Sistema de drenaje del FLA N°2.....</i>	<i>36</i>
<i>Fotografía N° 4 Cantera del rio Rímac de donde se extrajo la arena para la construcción de los FLA piloto.....</i>	<i>37</i>
<i>Fotografía N° 5 Secado de la arena húmeda extraída del rio Rímac.....</i>	<i>38</i>
<i>Fotografía N° 6 Muestras de arena de los filtros lentos: FLA N°1(A), FLA N°2(B) y FLAN°3(C).....</i>	<i>38</i>
<i>Fotografía N° 7 Protección de los FLA con mallas mosquiteras.....</i>	<i>43</i>
<i>Fotografía N° 8 Formación de la capa biológica en la superficie de los medios filtrantes: FLA N°1 (A), FLA N°2 (B) y FLA N°3 (C).....</i>	<i>49</i>
<i>Fotografía N° 9 Vista microscópica de la maduración de la capa biológica durante la carrera de filtración: A los 7 días(A), a los 14 días (B) y al final de la carrera de filtración(C).....</i>	<i>49</i>
<i>Fotografía N° 10 Microorganismos identificados en la capa biológica: Chlorella (A), Euglena (B), Palmella (C), Euastrum (D), Vaucheria (E), Oscillatoria (F), Carteare (G), no identificado (H) y no identificado (I).....</i>	<i>50</i>
<i>Fotografía N° 11 Larvas de mosquito (A), vista microscópica de la larva de mosquito (B).....</i>	<i>51</i>
<i>Fotografía N° 12 Aprobación de la Planta de Tratamiento Piloto con el cual se llevó acabo esta investigación.....</i>	<i>111</i>
<i>Fotografía N° 13 Lavado de cilindro (A), armado de los FLA piloto (B).....</i>	<i>111</i>
<i>Fotografía N° 14 Cuarteo de la muestra de arena (A), arena retenida por cada malla (B).....</i>	<i>112</i>
<i>Fotografía N° 15 Llenado de la probeta con muestra de arena para determinar la porosidad (A), vertido del agua en la probeta con arena (B).....</i>	<i>112</i>

<i>Fotografía N° 16 Aforo del afluente de los FLA (A), Toma de muestra del efluente del FLA N°1 (B)</i>	112
<i>Fotografía N° 17 Limpieza de la válvula distribuidora de caudal, la alta concentración de sólidos en suspensión fue debido a que las válvulas trabajaron con aperturas mínimas</i>	112
<i>Fotografía N° 18 Inicio de la carrera de filtración del FLA (A). In De carrera de filtración, evacuación del afluente por el rebose del FLA piloto FLA N°1 (B)</i>	112
<i>Fotografía N° 19 Limpieza y evacuación por sifoneo del agua del FLA (A), retiro del medio filtrante colmatado (B)</i>	112
<i>Fotografía N° 20 Cambio del medio filtrante colmatado de los filtros lentos de arena: FLA N°1(A), FLA N°2 (B) y FLA N°3 (C)</i>	112
<i>Fotografía N° 21 Retención de los sólidos en suspensión por los filtros de fibra de vidrio, luego de haber sido filtrados con el equipo de filtración al vacío</i>	112
<i>Fotografía N° 22 Capsulas en el desecador luego de haberlas retirado de la estufa a 105 °C.</i>	112
<i>Fotografía N° 23 Llenado de los frascos de winkler con agua destilada rica en nutrientes</i>	112
<i>Fotografía N° 24 Tubos de ensayo rotulados e inoculados, listos para poner en la incubadora.</i>	112
<i>Fotografía N° 25 No se formó gas (burbuja) dentro de los tubos duham con medio A1, se consideró un test negativo para coliformes termotolerantes (A). Se formó gas dentro de los tubos durham con medio A1, se consideró un test positivo para coliformes termotolerantes.</i>	112
<i>Fotografía N° 26 Observación microscópica de la formación de la capa biológica</i>	112

Índice de Figuras

<i>Figura N° 1 Mecanismos de transporte (CEPIS-OPS, 1992)</i>	24
<i>Figura N° 2 Filtro lento para el medio rural (CEPIS, 1982)</i>	27
<i>Figura N° 3 Esquema del recorrido del agua residual doméstico en la tesis de investigación.</i>	31
<i>Figura N° 4 Esquema del tanque Presedimentador</i>	33
<i>Figura N° 5 Esquema del filtro lento de arena piloto.</i>	35

Índice de Cuadros

<i>Cuadro N° 1 Partículas encontradas en el agua (AWWA, 1991)</i>	23
<i>Cuadro N° 2 Efecto de la tasa de velocidad en la eficiencia de remoción promedio (Bellamy, 1985)</i>	27

Índice de Tablas

XIII

Tabla 1 Características de la arena	39
<i>Tabla 2 Monitoreos semanales de Parámetros Físicoquímicos y Biológicos</i>	45
<i>Tabla 3 Parámetros medidos y el método usado</i>	46
<i>Tabla 4 Periodos y tasas de superficial usadas</i>	47
Tabla 5 Resultados en el periodo de evaluación del sistema	51
Tabla 6 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.....	86
Tabla 7 Numero más probable (NMP) de coliformes por cada 100 ml de muestra.....	87

1. CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional demanda más agua potable y alimentos mientras que al mismo tiempo genera vastos volúmenes de aguas residuales domésticas. Una gran cantidad de estas son vertidas directamente a los cuerpos receptores, por este motivo el agua además de ser un recurso vital se ha convertido en un vehículo transmisor de enfermedades principalmente por disposición de microorganismos patógenos de origen fecal.

Por otro lado, determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración en las aguas residuales, es una herramienta para conocer la calidad del agua. Uno de los indicadores de contaminación bacteriológica de las aguas residuales domésticas son los coliformes termotolerantes.

Actualmente existe gran cantidad de estudios sobre el uso de los filtros lentos de arena como sistemas de tratamiento terciario de aguas residuales domésticas, obteniendo resultados favorables en la disminución de contaminación bacteriológica. En esta investigación se evaluó el uso del filtro lento de arena como sistema de tratamiento primario y secundario.

La investigación se llevó a cabo realizando un montaje de tres FLA piloto en paralelo, de flujo continuo y distinta granulometría, en las instalaciones del Centro de Investigación de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI).

2. CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

En el año 2010, el estudio del uso de filtros lentos de arena (FLA), para la remoción de coliformes termotolerantes, aplicado como pos tratamiento del efluente de un humedal subsuperficial (Barzola, 2010), en la investigación se experimentó la eficiencia de remoción de los FLA aplicando distintas tasas superficiales, demostró que el FLA piloto mejora la calidad microbiológica del efluente del humedal subsuperficial, en términos de coliformes termotolerantes operando a una tasa superficial de $0.008 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{h}$, lo que califica a dicho efluente dentro de la categoría B de las directrices de la OMS (1989) sobre calidad parasitológica y microbiológica de aguas residuales para uso en agricultura, con las condiciones de reutilización en Irrigación de cereales, cultivos industriales, forrajes, pastos y árboles.

En el año 2012, la tesis de investigación de valoración de unidades de filtración lenta de arena como alternativa para la remoción de contaminación bacteriológica en aguas residuales de efluentes secundarios anaerobios (Paredes, 2012), en la investigación se evaluó las variables de operación y su influencia en la eficiencia del FLA piloto para la remoción de organismos patógenos, demostró que el FLA piloto como sistema de tratamiento terciario de aguas residuales de efluentes secundarios anaerobios es eficiente en la remoción de coliformes totales en un rango de(0.5 – 0.9) unidades logarítmicas.

En el año 2016, el estudio de aplicación de geotextiles en filtración lenta como parte del tratamiento terciario en la PTAR “ing. Arturo Pozos” colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala (Estrada, 2016), en la investigación se instaló el geotextil en la superficie del medio filtrante, con la finalidad de comparar el desempeño del medio convencional de arena con el medio auxiliado por una capa superior de geotextil, demostró que no es viable el uso de geotextiles en filtración lenta como parte del tratamiento terciario de aguas residuales, debido a que se colmató en menos de 24 horas.

En el año 2017, la tesis de investigación de la eficiencia del filtro lento de arena en la remoción de la carga orgánica en efluentes del mercado de

flores, Barranco (Moncada, 2017), el modelo experimental consistió en tres filtros diferentes de 45cm de alto, en la investigación se varió el espesor y la granulometría del medio filtrante, demostró que el uso de filtros lentos de arena para la remoción de carga orgánica en aguas procedentes de mercado de flores es eficiente.

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las aguas residuales domesticas generadas por las actividades humanas, al ser vertidas sin previo tratamiento en los cuerpos receptores, contaminan las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, especialmente por la presencia de microorganismos patógenos de origen fecal, afectando la salud pública y los ecosistemas.

Los coliformes termotolerantes son considerados como indicadores de la contaminación bacteriana del agua, ya que son comunes del sistema digestivo tanto del hombre y los animales de sangre caliente, se encuentran en abundancia en las aguas residuales domésticas.

2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se debe fomentar el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, cuyos efluentes tengan menores porcentajes de carga contaminante para luego ser vertidos a los cuerpos receptores o usarlos en riego.

El desarrollo de la presente tesis de investigación, permitirá brindar mayores conocimientos acerca del diseño y operación óptima de los filtros lentos de arena de flujo continuo, usando distintas tasas superficiales y distintas granulometrías del medio filtrante, para remover los coliformes termotolerantes presentes en las aguas residuales domésticas pretratadas.

2.1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente existen gran cantidad de estudios sobre el uso del filtro lento de arena como sistema de tratamiento terciario, para la remoción de coliformes totales presentes en las aguas residuales domésticas. Por el contrario, hay muy pocos trabajos de investigación que evalúan el uso de filtros lentos de arena como sistema de tratamiento primario o secundario para la remoción de coliformes termotolerantes presentes en las aguas residuales domésticas pretratadas.

El filtro lento de arena es una alternativa de tratamiento de aguas residuales domésticas, para la remoción de la turbiedad, materia orgánica y también coliformes fecales, la cual ha dado buenos resultados en países como: Nueva Zelanda, Guatemala, Colombia y Perú. Es importante conocer más sobre esta alternativa de tratamiento bajo condiciones de: diferentes tasas superficiales, diferentes tamaños efectivos del medio filtrante y en un rango de temperatura del medio ambiente de $22\pm 7^{\circ}\text{C}$.

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar la eficiencia de tres unidades de filtros lentos de arena de flujo continuo, en paralelo y diferente tamaño efectivo de los medios filtrantes, para la remoción de coliformes termotolerantes presentes en las aguas residuales domésticas pretratadas, operadas en un rango de temperatura del medio ambiente de $22\pm 7^{\circ}\text{C}$.

2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Esquematizar y construir los tres filtros lentos de arena piloto en paralelo, flujo continuo y distinta granulometría del medio filtrante de cada FLA.

- Evaluar el efecto de la aplicación de distintas tasas superficiales en cada carrera de filtración en la eficiencia de los tres filtros lentos de arena
- Evaluar y comparar la eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes en los tres filtros lentos de arena.
- Evaluar y comparar los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH y turbiedad), en los tres filtros lentos de arena.
- Evaluar y comparar la eficiencia de remoción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en los tres filtros lentos de arena

2.4 HIPÓTESIS

- La filtración lenta de arena como sistema de tratamiento secundario de aguas residuales domésticas pretratadas, brinda una eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes mayor a una unidad logarítmica (\log_{10}).

2.5 VARIABLES DE ESTUDIO

2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES

En relación a los indicadores de concentración, se han considerado para el proceso de monitoreo, las siguientes variables:

- Concentración de materia orgánica en el afluente y efluente.
- Concentración de coliformes termotolerantes en el afluente y efluente.
- El tiempo (días) de la maduración de la capa biológica en la superficie del medio filtrante de los filtros lentos de arena.

2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES

Aquellos factores cuya modificación origina la alteración de las variables dependientes. Para el presente estudio de investigación las variables independientes son las siguientes:

- Calidad del agua en el afluente.
- Tiempo de Retención Hidráulico.
- Tasa superficial aplicada
- Granulometría del medio filtrante

2.5.3 VARIABLE INTERVINIENTE

- Temperatura del ambiente
- Temperatura del afluente
- pH
- Sólidos Suspendidos Totales (SST)
- Oxígeno Disuelto (OD)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Turbiedad

2.6 MARCO LEGAL

2.6.1. ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ

En el decreto Supremo 003-2010 – MINAM se aprobó los Límites Máximos Permisibles (LMP), que contiene dentro de este último para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes Domésticas (ver anexo N°1)

3. CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. FILTRACIÓN LENTA ARENA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

La filtración lenta en arena es el sistema de tratamiento de agua más antiguo utilizado por el hombre. Es muy sencillo y eficiente porque simula exactamente el proceso de purificación que se da en la naturaleza al atravesar el agua superficial a los estratos de la corteza terrestre hasta encontrar los acuíferos (Mitsch W. y Jorgensen S. 2003).

Una de las ventajas del filtro lento de arena es que su operación y mantenimiento es fácil en comparación a los filtros rápidos, pero se requiere de mayores áreas para filtrar el mismo caudal.

En la mayoría de las ocasiones el filtro lento de arena se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, el cual si se diseña y opera adecuadamente puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua (CEPIS-OPS, 2001). Estos sistemas han sido normalmente utilizados para procesos de potabilización, pero también poseen un potencial para la eliminación de materia orgánica y microorganismos patógenos de aguas residuales domésticas provenientes de sistemas de tratamiento primario y secundario, es decir requieren un tratamiento previo que elimine el contenido de sólidos en suspensión que podrían colmatar rápidamente los medios filtrantes. (Ellis 1984)

Los filtros lentos de arena son unidades de tratamiento físico y biológico de acuerdo con Crites R. y Tchobanoglous G. (2000)

3.1.1. FUNCIONAMIENTO DEL FILTRO LENTO DE ARENA

La filtración lenta se consigue al hacer pasar el agua residual a través de medio filtrante de arena, durante este proceso los sólidos en suspensión quedan retenidos en el lecho filtrante y en la parte superior de este lecho se forma una capa biológica quien es responsable de la remoción de los microorganismos patógenos, la materia orgánica retenida será extraída en el proceso de raspado del filtro lento de arena. (Crites R. y Tchobanoglous G., 2000).

El agua residual que ingresa a la unidad de filtración permanece de tres a doce horas, dependiendo de la tasa de filtración requerida. En este periodo las partículas en suspensión son retenidas en el lecho filtrante y la materia orgánica son removidos por la capa biológica (Pérez F. y Urrea M., 2011).

Es conveniente que en el día el filtro lento este expuesto al medio ambiente de este modo las algas aprovecharan los rayos solares para realizar la fotosíntesis y así consumirán el dióxido de carbono presente en las aguas residuales y generan oxígeno para el beneficio de los microorganismos aerobios quienes degradaran la materia orgánica. (Huisman & Wood, 1974).

La capa biológica que se forma en la parte superior del lecho filtrante, está formada esencialmente por algas, protozoarios y bacterias. El agua residual al pasar por esta capa recibe la acción intensiva de estos microorganismos, quienes digieren y degradan la materia orgánica contenida en el agua residual (Konig J, 2008)

La capa biológica es activa hasta los 0.40 m de profundidad en el medio filtrante, a medida que va aumentando la profundidad del lecho filtrante varia la diversidad de forma de vida. En la parte superficial del lecho filtrante es donde hay mayor actividad biológica y es rico en alimentos. Este alimento está constituido principalmente por partículas de origen orgánico que se encuentran en las aguas residuales domésticas. (Huisman & Wood, 1974).

La capa biológica retiene a las partículas en suspensión hasta que la materia orgánica es degradada por el material celular, el cual a su vez es

asimilado por otros organismos convertido en materia inorgánica, tales como agua, dióxido de carbono, fosfatos y sales que posteriormente son evacuadas en el efluente del filtro lento (Langenbach K, 2009).

En la parte inferior del lecho filtrante disminuye la cantidad de alimentos, por ello crece otro tipo de microorganismos los cuales consumen el oxígeno disuelto en el agua residual y los nutrientes que se encuentran en solución (Campos L, 2002).

El rendimiento del filtro depende de la tasa de filtración, tiempo de retención y el proceso biológico. A menor tasa de filtración y mayor tiempo de retención el filtro será más eficiente, mientras se va formando la capa biológica la eficiencia es baja, mejorando a medida que madura la capa biológica (Barzola, 2012).

3.1.2. MECANISMOS DE REMOCIÓN EN LOS FILTROS LENTOS DE ARENA

Los mecanismos de transporte y adherencia que actúan sobre los filtros lentos de arena son similares a los de proceso de filtración rápida (cuadro 1), la diferencia radica en que en el filtro lento incluye un proceso biológico.

Mientras que en los filtros rápidos los microorganismos quedan atrapados en el lodo del lecho filtrante y salen del filtro con el agua de lavado, quedando nuevamente liberados, en cambio en el filtro lento mueren como consecuencia del proceso de degradación biológica. (AWWA, 1991)

Cuadro N° 1 Partículas encontradas en el agua (AWWA, 1991)

Categoría	Grupo/Nombre	Tamaño (micrones)
Mineral	- Arcilla (coloidal)	0.001 – 1.0
	- Silicatos	
	- No silicatos: Fe, Ca, Al, Mg, etc.	
Biológica	- Virus	0.1 – 0.1
	- Bacterias	0.3 – 10
	- Quistes de Giardia lamblia	10
	- Algas unicelulares	30 – 50
	- Huevos de parásitos	10 – 50
	- Huevos de nemátodes	10
	- Cryptosporidio oocysts	4 – 5
Otras partículas	- Pequeños desechos amorfos	1 – 5
	- Grandes desechos amorfos	25 – 500
	- Coloides orgánicos	--

3.1.3. MECANISMOS DE TRANSPORTE EN LOS FILTROS LENTOS DE ARENA

En esta etapa hidráulica se observa los mecanismos mediante los cuales las partículas en suspensión colisionan con los granos de arena del medio filtrante. Estos mecanismos son el de cernido, intercepción, sedimentación y difusión. La intensidad de esta colisión dependerá de que si la filtración se produce en la parte superior o inferior del lecho filtrante (CEPIS-OPS).

a) Cernido:

El mecanismo de cernido generalmente actúa en la superficie del medio filtrante reteniendo a las partículas en suspensión de mayor tamaño, estas partículas son los principales responsables de la colmatación de la parte superficial del lecho filtrante (CEPIS-OPS).

b) Intercepción:

En este mecanismo las partículas pueden colisionar con los granos de arena. La intercepción puede ocurrir solo si la partícula es conducida por las líneas de flujo que se acercan al grano de arena, de modo que friccionen la superficie de éste. Cuando la partícula tenga mayor tamaño, habrá más posibilidad que ocurra este mecanismo (CEPIS-OPS). (Ver figura 1(a)).

c) Sedimentación:

La fuerza gravitatoria actúa sobre las partículas en suspensión, generando una resultante vertical de la velocidad de conducción, la cual puede ocasionar el choque de las partículas en suspensión con los granos de arena. Este mecanismo es posible solo con las partículas en suspensión mayores de $10\ \mu\text{m}$ (Yao, 1971) (ver figura 1(b)).

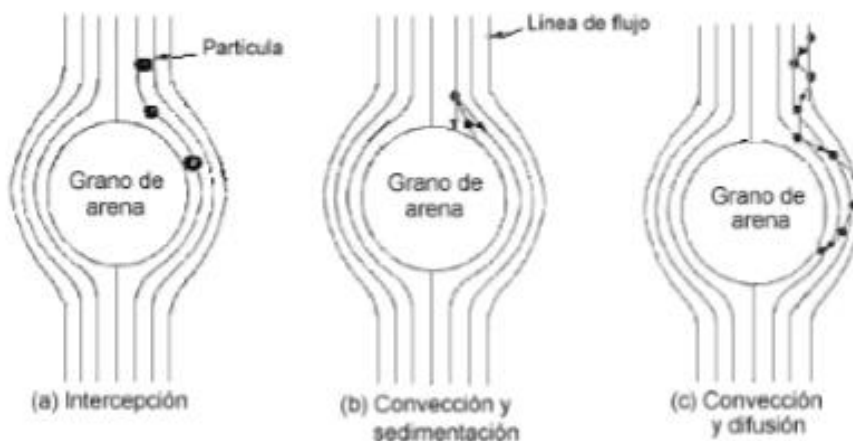


Figura N° 1 Mecanismos de transporte (CEPIS-OPS, 1992)

Sin embargo, algunas investigaciones como las de Bellamy y colaboradores (1985), Bryck (1987) y Barrett (1989) han comprobado que el límite máximo de desarrollo de la capa biológica se relaciona con la cantidad de nutrientes en el agua residual.

Si la concentración de nutrientes es baja se puede presentar una remoción de coliformes termotolerantes alrededor de 2 log después de la maduración de la capa biológica (Bellamy y colaboradores, 1985). Por lo contrario, si el agua residual presenta alta concentración de nutrientes se puede esperar una remoción de coliformes termotolerantes alrededor de 3 log. (Bellamy, 1985), en algunos casos se mostró una remoción de hasta 4 log (Barrett, 1989).

3.1.4. MECANISMO BIOLÓGICO

Al iniciarse la carrera de filtración, las bacterias predadoras transportadas por el agua residual pueden proliferarse en forma selectiva, colaborando a la formación de la capa biológica del filtro lento de arena y emplean como alimento a la materia orgánica acumulada.

Estas bacterias desintegran la materia orgánica para conseguir la energía que requieren para su metabolismo y aprovechan parte de este material para su desarrollo. De ese modo la materia orgánica muerta es transformada en materia viva. La materia orgánica desintegrada es transportada por el agua hacia el interior del lecho filtrante para ser usada por otros microorganismos (CEPIS-OPS).

La concentración de bacterias depende de la cantidad de materia orgánica en el agua residual y simultáneamente está acompañada por un fenómeno de mortalidad, durante este proceso se libera materia orgánica que será usada por las bacterias de las capas inferiores del lecho filtrante y así sucesivamente. De esta manera, la materia orgánica degradable presente en el agua residual es descompuesta progresivamente en: agua, dióxido de carbono y sales los cuales son transportados por el efluente del filtro lento de arena.

La actividad de los microorganismos es con mayor intensidad en la capa superior del lecho filtrante y disminuye a medida que se va ingresando hacia las capas interiores y a la poca cantidad de alimentos. Al realizar el raspado de la capa superior del filtro lento de arena se retira los microorganismos, por ello es necesario un nuevo tiempo de maduración,

hasta que se logre formar nuevamente la capa biológica requerida (CEPIS-OPS).

3.1.5. FACTORES QUE MODIFICAN LA EFICIENCIA DEL FILTRO LENTO DE ARENA

Estos factores son los siguientes: diseño, operación y ambiental.

5.1.5.1. Condiciones de diseño

Uno de los factores más resaltantes para un buen trabajo del filtro lento es la tasa superficial o también llamada velocidad de filtración, según el estudio realizado por Bellamy (1985) comprobó que la tasa de filtración está relacionada directamente con la remoción de bacterias.

Es fundamental que las condiciones de diseño sean sencillas debido a que en las zonas rurales de Latinoamérica los recursos económicos son escasos. Los estudios realizados por I. Hespanhol, (1960) y el CEPIS/DIAPA (investigación N°1, 1980), comprobaron que la filtración lenta en las zonas rurales de Latinoamérica había fracasado por este motivo, debido a que las soluciones técnicas se hayan implementado similares al de los países desarrollados, quienes cuentan con los recursos necesarios y muchas décadas de experiencia en la operación y mantenimiento.

El CEPIS con el fin de facilitar y que sea más accesible el uso de los filtros lentos, planteó nuevos parámetros de diseño de acorde a nuestra realidad, que consiste en el uso de vertederos para el control del caudal y de los niveles mínimo y máximo del filtro lento.

Cuadro N° 2 Efecto de la tasa de velocidad en la eficiencia de remoción promedio (Bellamy, 1985)

Microorganismos	de análisis	en el agua cruda	Filtro 1 0.04 m/h	Filtro 2 0.12 m/h	Filtro 3 0.40 m/h
Quistes de Giardia	222	50-5075 quistes/litro	99.991	99.994	99.981
Coliformes totales	243	0-29,000 CFU/100 ml	99.96	99.97	99.98
Coliformes fecales	81	0-35,000 CFU/100 ml	99.84	98.45	98.65
Contaje total de bacterias	351	10-(10 ⁵) CFU/100 ml	91.40	89.47	87.99

* Información obtenida en filtros piloto de 30.5 cm de diámetro, operando continuamente durante un año

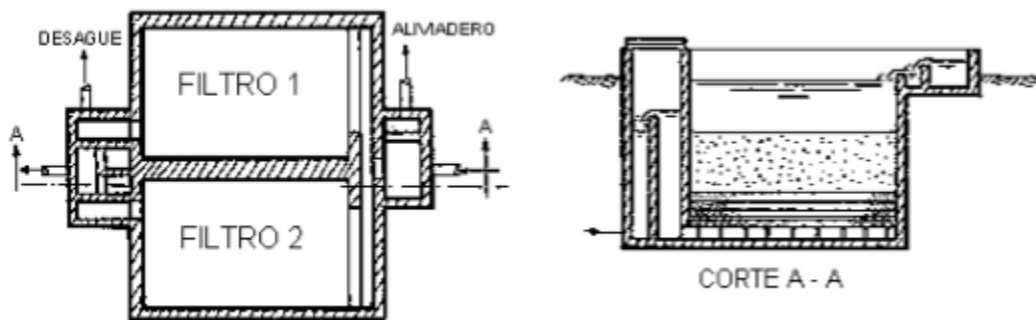


Figura N° 2 Filtro lento para el medio rural (CEPIS, 1982)

5.1.5.2. Condiciones de operación y mantenimiento

Es importante que se realice una buena operación y mantenimiento para mejorar la eficiencia del filtro, especialmente en las primeras semanas de funcionamiento del filtro para obtener una buena formación de la capa biológica.

Durante la operación del filtro lento se debe realizar un cronograma de limpieza, monitorear los parámetros como la turbiedad para observar si el medio filtrante aún puede trabajar o ya está colmatado. Si ya está

colmatado se procederá al raspado de la capa superior del medio filtrante y si es necesario se añadirá arena al medio filtrante (Bryck)

Al inicio de la carrera de filtración aún no se forma la capa biológica y si se ha formado es ineficiente para la remoción de contaminantes microbiológicos, Bellamy (1985).

5.1.5.3. Condiciones ambientales y calidad del agua residual

Las características del agua residual que más afecta a la eficiencia del filtro lento de arena son la temperatura, la concentración de nutrientes, de sustancias tóxicas, turbiedad y color altos.

a) Temperatura:

En circunstancias ambientales extremas se han conseguido eficiencias que oscilan entre 0 y 90% (Huisman & Wood, 1974). La eficiencia de remoción de bacterias coliformes termotolerantes puede reducirse de 99% a 20°C a 50% a 2°C; permaneciendo inalterables todas las condiciones restantes

En los países desarrollados con temperaturas muy bajas, los filtros lentos se cubren con la finalidad de conservar el calor y mitigar el efecto del frío.

b) Concentración de nutrientes:

El tiempo de formación de la capa biológica está directamente vinculado con la cantidad de nutrientes presentes en el afluente del filtro lento, ya que los microorganismos se alimentan de esta materia orgánica presente en el afluente del filtro (CEPIS-OPS).

Si la temperatura es baja y hay poca concentración de nutrientes la capa biológica eficiente puede tardar meses en formarse.

c) Concentraciones de turbiedad y color:

La concentración de la turbiedad no debe ser alta porque colmataría con mayor facilidad el lecho filtrante, por otro lado, al monitorear la turbiedad se observa un incremento de la turbiedad del efluente es un indicador para hacer el raspado del lecho filtrante. El filtro lento es ineficiente para la remoción del color (CEPIS.OPS).

4. CAPITULO IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 UBICACIÓN DE LOS FILTROS LENTO DE ARENA PILOTO

Los filtros Lentos de Arena a escala piloto se ubicaron en las instalaciones del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos CITRAR – FIA – UNI, el cual trata las aguas residuales domésticas que provienen de los asentamientos humanos El Milagro y El Carmen pertenecientes al distrito de Independencia.

4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO EXPERIMENTAL

El sistema de tratamiento de este proyecto estuvo conformado por las unidades de tratamiento existentes en CITRAR:

Pretratamiento (Captación, rejas gruesas, rejas finas y el desarenador)

Se implementó las siguientes unidades:

Presedimentador como tratamiento primario y tres filtros lentos de arena en paralelo como tratamiento secundario.

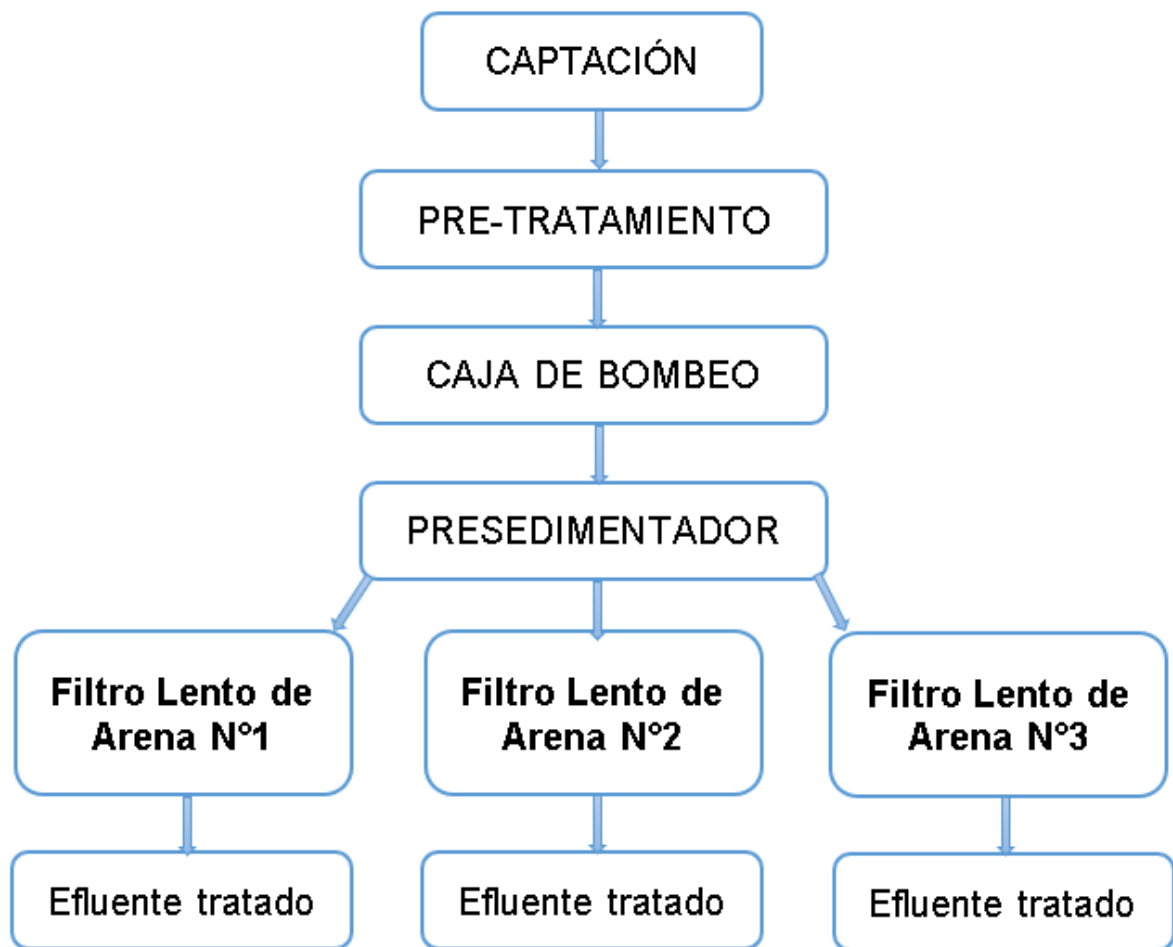


Figura N° 3 Esquema del recorrido del agua residual doméstico en la tesis de investigación.

4.3 PRE-TRATAMIENTO

El agua residual doméstica hace su ingreso a la PTAR- CITRAR-UNI mediante la unidad de captación, luego pasa por las rejas gruesas, rejas finas y por el desarenador.

Para el desarrollo de esta investigación se empleó como afluente de la PTAR piloto, el agua residual que ya ha pasado por las unidades de pre-tratamiento.

La captación se realizó luego del vertedero de tipo Sutro. A partir de una caja de concreto se bombeo el agua residual pre-tratada hasta la unidad

de almacenamiento (presedimentador), el cual será el afluente de los tres Filtros lentos de arena.



Fotografía N° 1 Caja de Concreto de donde se bombeo el agua residual pretratada hacia el presedimentador de la PTAR Piloto

4.4 TANQUE PRESEDIMENTADOR

El tanque presedimentador se llenó a diario, el volumen de llenado dependió de la capacidad de tratamiento de los filtros lentos de arena en cada carrera de filtración.

Llenado del tanque presedimentador de acuerdo al volumen requerido diariamente	Litros/día			
	FLA N°1	FLA N°2	FLA N°3	Tanque Presedimentador
Primera carrera de filtración	86.4	144	144	374.4
Segunda carrera de filtración	43.2	86.4	86.4	216
Tercera carrera de filtración	28.8	43.2	43.2	129.6
Cuarta carrera de filtración	14.4	28.8	28.8	72

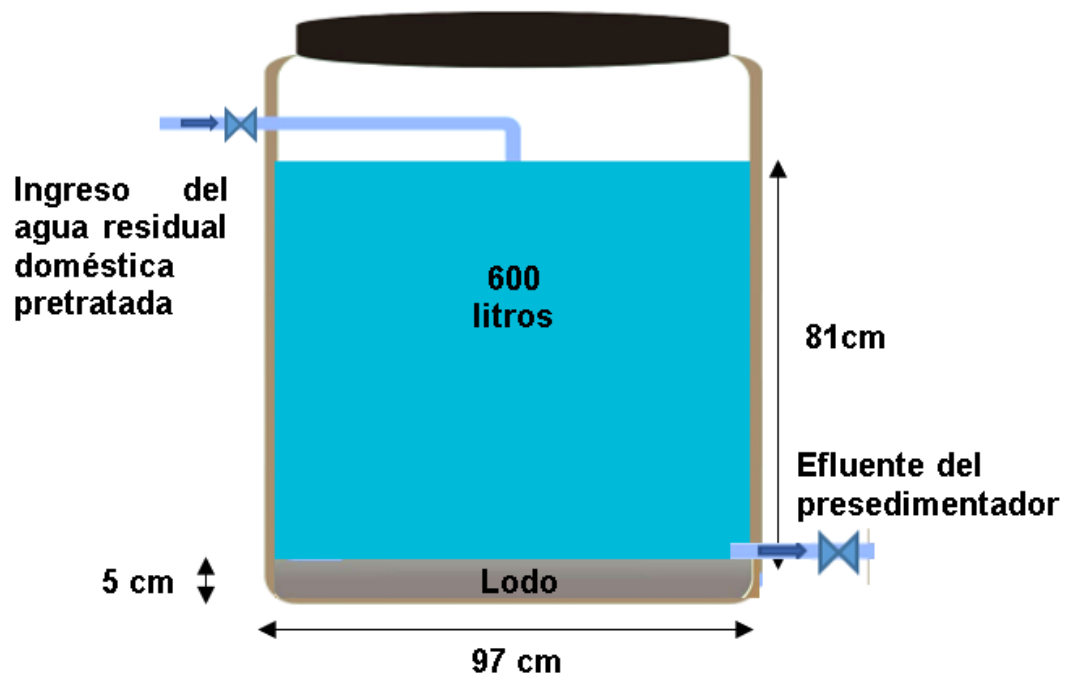


Figura N° 4 Esquema del tanque Presedimentador

Luego el agua residual pre-tratada fue conducida hacia el tanque ecualizador. Dicho tanque se instaló al costado del tanque de almacenamiento con la finalidad de mantener el nivel y flujo continuo y regular la carga hidráulica, este tanque regulador de presión cuenta con una válvula flotadora para mantener un nivel y flujo constante de agua hacia los tres filtros lentos.



Fotografía N° 2 Tanque ecualizador (A) y sistema de regulación de caudal del FLA (B)

Desde el tanque ecualizador se condujo el agua residual pretratada por medio de tuberías de PVC de 1/2" hasta un dispositivo de distribución de caudal, se incluyó válvulas para regular y controlar el afluente de los tres filtros lentos de arena.

4.5 FILTROS LENTOS DE ARENA PILOTO.

Para la construcción de los FLA piloto se usó tres cilindros de plástico de 220 litros de capacidad, para cada filtro lento se usó arena de río con distinta granulometría. Los FLA fueron instalados de manera paralela.

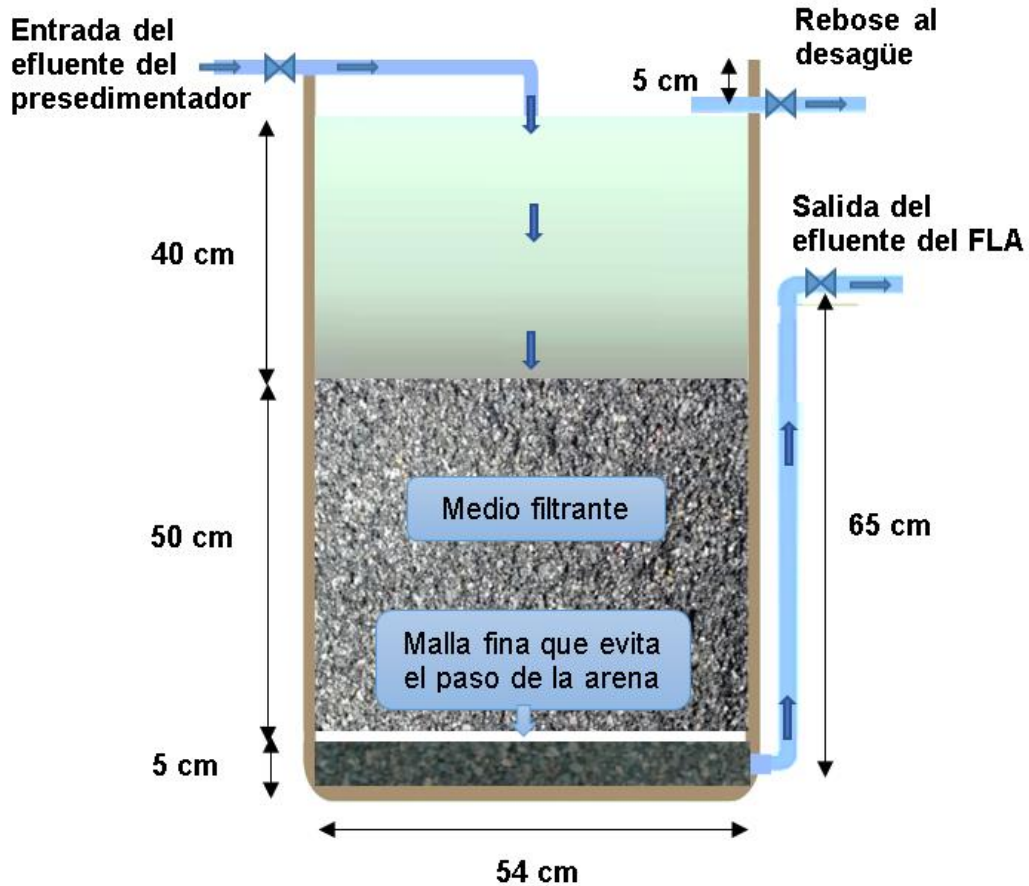


Figura N° 5 Esquema del filtro lento de arena piloto.

4.5.1 TUBERÍA DE REBOSE DE LOS FLA PILOTO

Este sistema fue de mucha importancia ya que los FLA piloto al llegar a la última etapa de cada carrera de filtración el afluente comenzaba a evacuar por el sistema de rebose, esto fue un indicador que el lecho filtrante del FLA estaba colmatado y necesitaba el raspado o en caso contrario cambiar

el medio filtrante como fue nuestro caso, dado que era un FLA piloto y el lecho filtrante era de 0.5 metros de espesor.

Los reboses de los tres FLA piloto estuvieron conectados al sistema de desagües de CITRAR.

4.5.2 SISTEMA DE DRENAJE Y LECHO DE SOPORTE

Este sistema ofreció soporte al lecho filtrante y permitió que el proceso de filtración se realice de manera uniforme en toda el área del FLA piloto y también permitió la recolección del agua filtrada y su salida de la unidad.

La tubería de drenaje estuvo compuesta por dos tuberías de 1/2" diámetro, perforadas (en forma de U) con el fin de recolectar de manera uniforme el agua filtrada, los cuales se unieron a la tubería principal mediante una tee.

Fotografía N° 3 Sistema de drenaje del FLA N°2



Sobre las tuberías se colocó una capa de lecho de soporte de piedra chancada 1/2", se colocó una malla fina para evitar el paso de la arena y evitar la obstrucción de las tuberías de drenaje.

La malla fina se usó con el fin de que el lecho de soporte sea delgado, de ese modo se ganó más espacio para el medio filtrante.

Las tuberías de salida de los efluentes de los FLA piloto se instalaron en forma de cuello de ganso y por encima del medio filtrante, con la finalidad que el medio filtrante siempre esté sumergido en el agua, de ese modo los microorganismos presentes en la capa biológica siguen vivos en caso hubiera cualquier incidente y no ingrese el afluente de los filtros lentos.

4.5.3 LECHO FILTRANTE

El lecho filtrante estaba compuesto por arena de río, la arena se extrajo del río Rímac a la altura de la universidad UNION – Chosica.



Fotografía N° 4 Cantera del río Rímac de donde se extrajo la arena para la construcción de los FLA piloto

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE LA ARENA:

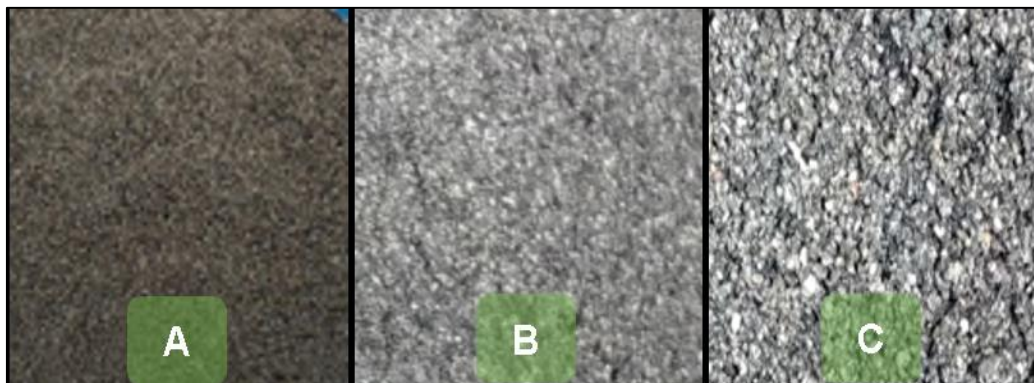
Después de extraer la arena del río, se tendió para su secado y posterior tamizado artesanal.



Fotografía N° 5 Secado de la arena húmeda extraída del río Rímac

Para el tamizado, se usó cuatro mallas mosquiteras de distinta medida de diámetro de los agujeros de la malla, se obtuvo cuatro tipos de muestra de arena que sus diámetros están en los siguientes rangos: muestra general (0.075 – 2.38 mm), muestra del FLA N°1 (0.297 - 0.595 mm), muestra FLA del N°2 (0.707 - 1.19 mm) y la muestra del FLA N°3 (1.41 – 2.38 mm).

Las arenas fueron lavadas previamente antes de colocarlas en los



cilindros.

Fotografía N° 6 Muestras de arena de los filtros lentos: FLA N°1(A), FLA N°2(B) y FLAN°3(C).

CONFIGURACIÓN DE LOS MEDIOS FILTRANTES.

Para el análisis granulométrico de los medios filtrantes se usó las (Mallas Estándar para Normas Americanas e inglesas).

En la siguiente tabla se muestra las características de las cuatro muestras de arena.

Tabla 1 Características de la arena

CARACTERÍSTICAS DE LA ARENA	Muestra general	Muestra del FLAN°1	Muestra del FLAN°2	Muestra del FLAN°3
Diámetro de la arena (mm)	0.075 - 2.38	0.297 - 0.595	0.707 - 1.19	1.41 - 2.38
Tamaño efectivo (mm) D'10	0.2	0.34	0.76	1.51
Tamaño correspondiente al 60% que pasa la malla D'60	0.48	0.51	1.05	1.98
Coefficiente de uniformidad C. U	2.4	1.5	1.8	1.31
Porosidad %	35	28	39.6	45.6

La curva granulométrica que cumple estas condiciones es la que se muestra en la siguiente gráfica:

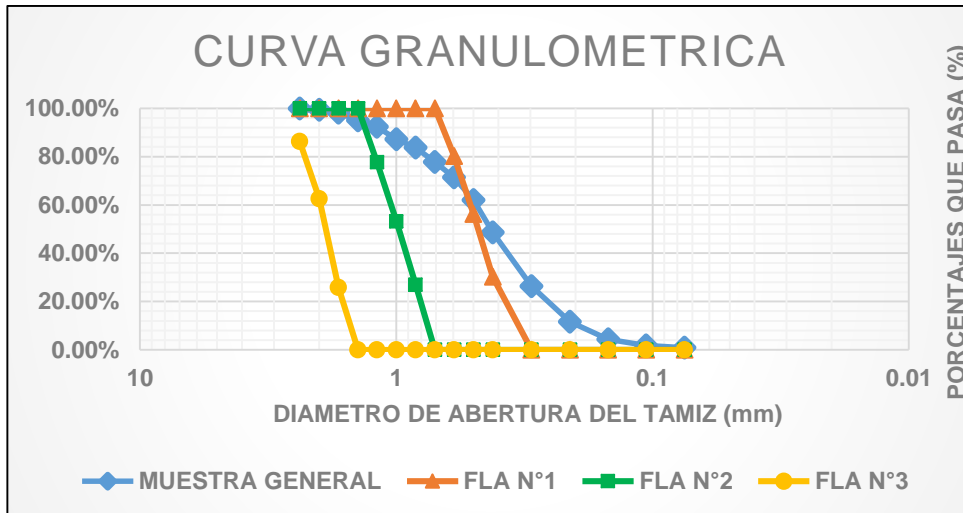


Gráfico N° 1 Curva Granulométrica de la arena de las 4 muestras.

4.6 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL EFLUENTE DEL FLA

EL efluente de cada FLA se almacenó en un balde de 25 litros. Cada filtro tuvo su propio balde de almacenamiento, para facilitar las labores de muestreo.

El efluente de cada balde de almacenamiento fue conducido a un buzón conectado al sistema de redes de alcantarillado de SEDAPAL. Cabe recalcar que los baldes de almacenamiento siempre permanecieron cerrados salvo para las labores de muestreo, limpieza y mantenimiento.

4.7 PRUEBA HIDRÁULICA

Antes de llenar el tanque presedimentador con agua residual doméstica pre tratada, este se llenó con agua potable para apreciar su funcionamiento y circulación del agua. Además, se realizó la prueba hidráulica (24 horas) en todas las unidades para observar si existe alguna filtración para su pronta corrección.

4.8 PUESTA EN MARCHA DE LOS FLA.

El agua residual pre tratada fue bombeada hacia el presedimentador, para lo cual se usó una bomba de 0.5 HP, para obtener carga hidráulica y luego

por gravedad pueda circular normalmente el caudal requerido a través de los FLA.

La salida del efluente de los Filtros lentos de arena piloto se condujo a través de tubería de 1/2" (en forma de cuello de ganso) ubicado a una cota de 15cm por encima del nivel del lecho filtrante, con el fin de asegurar que el lecho filtrante esté sumergido todo el tiempo.

4.9 AFORO DEL AFLUENTE DE LOS FLA PILOTO

Para aforar el caudal se usó una probeta de 100 ml y un cronómetro manual, este proceso se realizó todas las semanas de lunes a viernes durante las cuatro carreras de filtración de los FLA a fin de mantener la tasa de filtración requerida para cada FLA en cada una de las cuatro carreras.

4.10 LABORES DE MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE LA PTAR PILOTO

Para el adecuado funcionamiento y mayor objetividad en esta investigación fue necesario mantener la PTAR piloto en buen estado y funcionando continuamente durante las cuatro carreras de filtración de los FLA piloto.

Las labores de mantenimiento que se realizaron a la PTAR piloto fueron las siguientes:

En la caja de concreto de la cual se bombeo el agua residual pretratada antes de proceder al bombeo se realizó:

- El cebado de la bomba.
- Limpieza de los sólidos o cualquier suciedad que pueda afectar el buen funcionamiento de la electrobomba.

El tanque presedimentador se limpió una vez por semana durante todo el proceso de la investigación, la limpieza se realizó con detergente y agua

potable luego se enjuagaba hasta asegurarnos que no quede ningún rastro del detergente para que no perjudique o beneficie a los microorganismos de los FLA piloto.

Los lodos y el agua del lavado del presedimentador se desaguaban por una manguera que estaba instalada justo antes de la válvula de control del efluente del presedimentador.

El tanque regulador de presión se limpió semanalmente ya que en su interior se acumulaba lodo y podría haber la presencia de gases peligrosos como el sulfuro de hidrógeno, por ello antes de limpiar se dejaba ventilar por un espacio de 10 minutos y al manipularlo siempre se usó mascarilla y guantes.

El distribuidor de caudal fue limpiado diariamente debido a que las válvulas de control de ½" no funcionaron abiertas en su totalidad solo lo necesario para dejar pasar el caudal aforado diariamente en cada carrera de filtración de los FLA piloto. Lo cual generó acumulación de sólidos en la tubería de distribución de caudal, esto se dio con mayor intensidad en la tercera y cuarta carrera de filtración debido a que se trabajó con caudales pequeños.

4.10.1 LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE LOS FLA PILOTO

Normalmente cuando el lecho filtrante de los FLA se satura su mantenimiento se hace por medio del raspado, pero en esta investigación no se procedió de ese modo debido a que el lecho filtrante tuvo un espesor de 50 cm, que es considerada la altura mínima de operación en los FLA.

El lecho filtrante de los FLA piloto fueron reemplazados después de cada carrera de filtración debido a que se encontraban colmatados, se reemplazaron por otra arena de las mismas características a cada FLA piloto.

El cambio del lecho filtrante de los filtros se realizó cada vez que la calidad del efluente de los FLA piloto desmejore, pero principalmente cuando el

lecho se satura cuyo principal indicador fue que el afluente comience a salir por la tubería de reboce es decir que el FLA piloto llegó al final de su carrera de filtración.

Para la limpieza y cambio del lecho filtrante se paralizaba el funcionamiento de la PTAR piloto, la evacuación del agua residual se realizó por sifoneo usando una manguera de ½" y 50 m de longitud.

4.11 CONTROL DE VECTORES

Los FLA piloto estuvieron expuestos al medio ambiente lo cual conllevó a que sea un lugar que pueda acoger a los vectores como los mosquitos, ello sucedió por las noches y con mayor frecuencia cuando el flujo no fue constante debido a la ausencia del afluente de los FLA en feriados largos, fines de semana, festividades, etc. Dicha ausencia de ingreso del afluente permitió que el agua residual este estancada y sedimento formándose un espejo de agua en cada FLA lo cual permitió que los mosquitos pongan sus huevos.

Para evitar que los mosquitos pongan sus huevos en los FLA piloto se les cubrió con mallas mosquiteras. Esto se realizó todos los días por la tarde y en especial los fines de semana, se retiró las mallas cada vez que la PTAR piloto esté operando en el día.



Fotografía N° 7 Protección de los FLA con mallas mosquiteras

4.12 DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

En la presente tesis de investigación se tuvieron en cuenta varios parámetros fisicoquímicos y biológicos para el monitoreo de la eficiencia de los tres filtros lentos de arena a escala piloto.

Se establecieron cinco puntos de monitoreo para la realización de los análisis, denominados de la siguiente forma:

- Punto 1: La caja de donde se bombea el agua residual pretratada.
- Punto 2: Efluente del presedimentador (Afluente de los FLA piloto).
- Punto 3: Efluente del FLA N°1.
- Punto 4: Efluente del FLA N°2.
- Punto 5: Efluente del FLA N°3.

4.13 PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL

Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos considerados en la presente tesis de investigación fueron los siguientes:

- Temperatura ambiental
- Temperatura en el punto de muestreo
- pH
- Turbiedad
- Sólidos Suspendidos Totales
- Oxígeno Disuelto (OD)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Parámetro biológico

El parámetro biológico considerado en la presente tesis de investigación fue el siguiente:

- Coliformes fecales o termotolerantes

4.14 CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL

La evaluación de los parámetros de temperatura del medio ambiente, temperatura de la muestra, pH, turbiedad y OD se realizaron a diario (lunes a viernes) y los parámetros como la DBO, SST y coliformes termotolerantes semanalmente, durante un periodo de 23 semanas. Por lo que a continuación se detalla el programa de los análisis ejecutados.

Para el desarrollo de las tablas y gráficas de los resultados, se consideró los datos obtenidos de las muestras tomadas a las 11:00 am, con un margen de error de los tiempos de muestreo de (\pm 10 minutos).

Tabla 2 Monitoreos semanales de Parámetros Físicoquímicos y Biológicos

Monitoreos semanales de Parámetros Físicoquímicos y Biológicos				
	1- 3	4- 7	7 - 14	15 - 23
Caudal promedio	x	x	x	x
Parámetros Físicoquímicos				
Temperatura ambiental	x	x	x	x
Temperatura del punto de muestreo	x	x	x	x
pH	x	x	x	x
Turbiedad	x	x	x	x
Oxígeno disuelto (OD)	x	x	x	x
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	ND	x	x	x
Sólidos suspendidos totales	ND	x	x	x
Parámetros Biológicos				
Coliformes termotolerantes	ND	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

(x): Se realizó en monitoreo

(ND): No se realizó el monitoreo

Semana 01 (27/11/17 - 01/12/2017)
Semana 23 (14/05/2018 - 18/05/2018)

4.15 PARÁMETROS EVALUADOS

En la siguiente tabla mostramos un resumen de los parámetros medidos con el método que se aplicó en cada uno.

Tabla 3 Parámetros medidos y el método usado

PARÁMETRO	MÉTODO EMPLEADO
Temperatura	APHA, AWWA, WEF 4500-H+B: 1998; 20 TH Ed. Métodos de campo
PH	APHA, AWWA, WEF 4500-H+B: 1998; 20 TH Ed. Método electrométrico
Turbiedad	APHA, AWWA, WEF 2130.B: 1998; 20 TH Ed. Turbiedad, Método Nefelométrico.
Sólidos suspendidos Totales	APHA, AWWA, WPCF 2540E: 1989; 17 th Ed. Método Gravimétrico.
oxígeno Disuelto	APHA, AWWA, WEF 4500-OC: 1998; 20 th Ed. Azide Modification. APHA, AWWA, WEF 2550 B. Método Winkler o Yodométrico
Demanda Bioquímica de Oxígeno	APHA, AWWA, WEF 5210-B: 1998; 20 th Ed. Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD). 5 day BOD Test.
Coliformes Termotolerantes	APHA, AWWA, WPCF 5210-B: 1998; 19 th Ed. Tubos Múltiples. Usando el medio A-1

Fuente: Elaboración propia

4.16 PERIODOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En el desarrollo de esta investigación se realizaron cuatro carreras de filtración de los tres FLA piloto, en cada carrera se mantuvo la tasa de filtración de cada FLA, En todas las carreras de filtración se mantuvo las características del lecho filtrante de cada FLA piloto, pero se varió la tasa superficial de filtración de mayor a menor en cada uno de ellos.

Tabla 4 Periodos y tasas de superficial usadas

CARRERAS DE FILTRACIÓN	PERIODO			TASA SUPERFICIAL $m^3/m^2 * h$		
	Fecha inicio	Fecha final	N° Semanas	FLA N°1	FLA N°2	FLA N°3
Primera carrera de filtración	27/11/2017	15/12/2017	3	0.0157	0.0261	0.0261
Segunda carrera de filtración	3/01/2018	26/01/2018	4	0.0078	0.0157	0.0157
Tercera carrera de filtración	29/01/201	16/03/2018	7	0.005239	0.0078	0.0078
Cuarta carrera de filtración	19/03/2018	18/05/2018	9	0.002619	0.005239	0.0052

Fuente: Elaboración propia

5. CAPITULO V

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se detalla el análisis de resultados obtenidos a lo largo de todo el periodo de investigación.

5.1. DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS FILTROS LENTOS PILOTO.

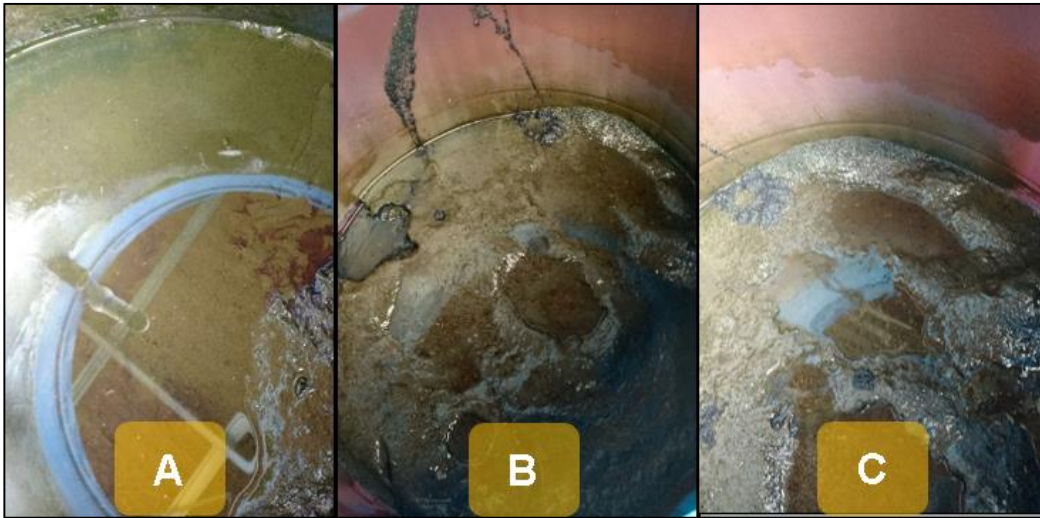
Durante las dos primeras carreras de filtración de los FLA piloto, el tanque de almacenamiento funcionó como un tanque de paso, lo cual se evidencio en los resultados de los análisis físico, químico y biológicos de las aguas residuales pretratadas y el efluente del presedimentador ya que no se observó una variación significativa. Las características del efluente del tanque de almacenamiento fueron similares a las aguas residuales pretratadas (afluente). En esta etapa los FLA piloto funcionaron como un sistema de tratamiento primario.

Durante la tercera y cuarta carrera de filtración de los FLA piloto, el tanque de almacenamiento funcionó como un presedimentador debido a que se disminuyó significativamente la tasa de filtración de los FLA, lo cual se evidenció en la variación de los resultados del afluente y efluente del tanque de almacenamiento. En esta etapa los FLA piloto funcionaron como un sistema de tratamiento secundario.

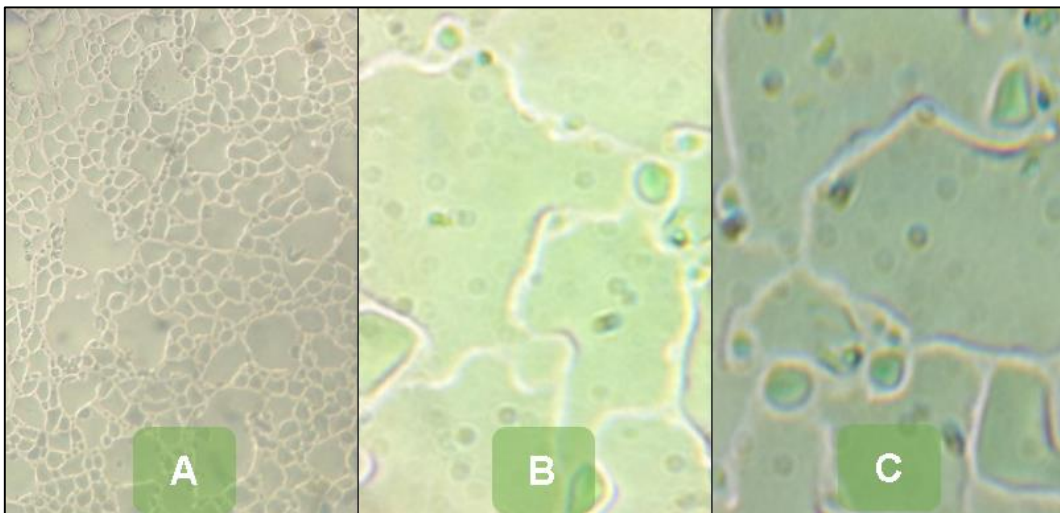
5.2. DE LA MADURACIÓN DE LA CAPA BIOLÓGICA

Se observó que después de 14 días de contacto del agua residual pretratada con el lecho filtrante de cada FLA piloto se maduró la capa biológica. Lo cual se evidencio con el incremento de la eficiencia de los FLA piloto.

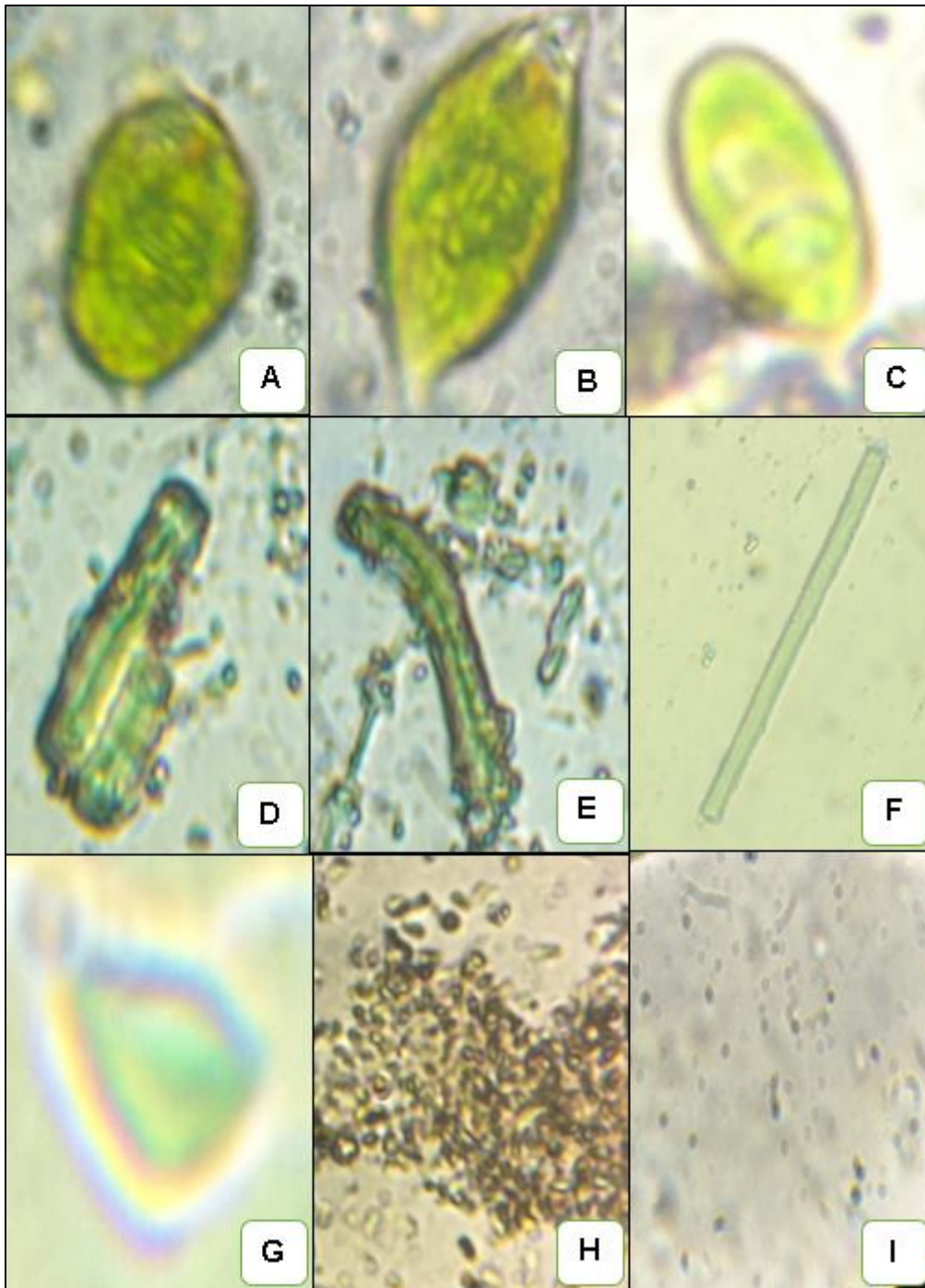
En las fotografías se muestra la formación de la capa biológica en los FLA piloto.



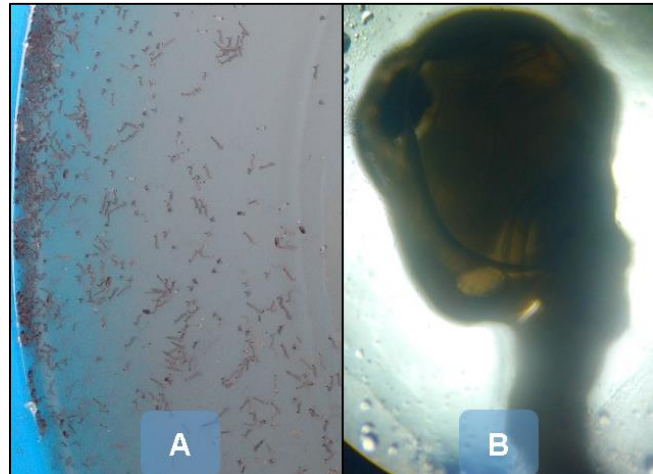
Fotografía N° 8 Formación de la capa biológica en la superficie de los medios filtrantes: FLA N°1 (A), FLA N°2 (B) y FLA N°3 (C)



Fotografía N° 9 Vista microscópica de la maduración de la capa biológica durante la carrera de filtración: A los 7 días(A), a los 14 días (B) y al final de la carrera de filtración(C)



Fotografía N° 10 Microorganismos identificados en la capa biológica: *Chlorella* (A), *Euglena* (B), *Palmella* (C), *Euastrum* (D), *Vaucheria* (E), *Oscillatoria* (F), *Carteare* (G), no identificado (H) y no identificado (I)



Fotografía N° 11 Larvas de mosquito (A), vista microscópica de la larva de mosquito (B)

5.3. DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS

Durante la primera carrera de filtración los FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 operaron con tasas superficiales de 0.0157, 0.0261, 0.0261 $m^3/m^2 * h$ y tiempo de retención hidráulico de 19.45, 8.3, 6.3 horas respectivamente.

Tabla 5 Resultados en el periodo de evaluación del sistema

PARÁMETRO EVALUADO	PUNTOS DE MUESTREO				
	Agua residual pretratada	Afluente de los FLA	Efluente del FLA N°1	Efluente del FLA N°2	Efluente del FLA N°3
SEGUNDA CARRERA DE FILTRACIÓN					
Temperatura del medio ambiente °C	26.73±0.64	26.73±0.64	26.73±0.64	26.73±0.64	26.73±0.64
Temperatura en el punto de muestreo °C	24.84±0.8	24.66±0.59	24.22±1.2	24.49±0.99	24.73±0.94
pH	7.31±0.14	7.23±0.20	7.71±0.13	7.59±0.18	7.4±0.12
Turbiedad (NTU)	114.27±14.23	126.26±21.54	6.88±5.22	10.37±7.93	15.53±13.37
Oxígeno disuelto /mg/l)	5.7±1.13	0	4.34±0.48	0	0

SST (mg/l)	156.7±6.3	153.55±9.25	11.95±1.05	23.1±4.8	36.07±4.13
DBO (mg/l)	124.8±13.4	131.2±9	67.1±13.2	73.3±23.1	81.1±18.2
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	1.70E+07 ± 3.00E+06	1.23E+07 ± 4.70E+06	1.20E+06± 4.98E+05	1.02E+06 ± 9.83E+05	1.75E+06 ± 3.50E+05
TERCERA CARRERA DE FILTRACIÓN					
Temperatura del medio ambiente °C	28.73±1.07	28.73±1.07	28.73±1.07	28.73±1.07	28.73±1.07
Temperatura en el punto de muestreo °C	26.22±1.61	25.53±1.37	24.64±0.7	25.01±68	25.46±0.43
pH	7.25±0.26	7.17±0.30	7.64±0.14	7.56±0.13	7.35±0.10
Turbiedad (NTU)	143.48±29.52	91.49±6.71	6.26±2.74	9.18±4.72	9.81±6.59
Oxígeno disuelto /mg/l)	5.59±1.47	0	6.13±1.18	5.37±0.74	4.37±0.75
SST (mg/l)	142.4±15.6	105.3±4.9	7.01±1.19	15.9±1.8	20.4±4.1
DBO (mg/l)	114.3±6.5	112.8±6.4	21.24±15.56	36±9.6	51.78±19.02
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	1.06E+08± 6.43E+07	8.90E+07± 5.10E+07	1.19E+06± 2.12E+05	1.17E+06± 2.33E+05	7.72E+06± 1.58E+06
CUARTA CARRERA DE FILTRACIÓN					
Temperatura del medio ambiente °C	27.67±1.73	27.67±1.73	27.67±1.73	27.67±1.73	27.67±1.73
Temperatura en el punto de muestreo °C	25.78±0.93	25.18±0.3	24.57±0.4	24.87±0.49	25.08±0.54
pH	7.35±0.29	7.21±0.16	7.55±0.26	7.43±0.28	7.30±0.07
Turbiedad (NTU)	141.93±44.07	86.88±6.12	5.76±1.24	7.54±2.96	6.52±4.43
Oxígeno disuelto /mg/l)	5.51±1.59	0	6.59±0.73	5.53±0.7	4.54±0.59
SST (mg/l)	177.1±20.4	96.2±6	3.4±0.8	7.5±1.9	11.9±1.5
DBO (mg/l)	137.5±62.5	118.25±2.55	12.61±13.34	9.07±3.24	19.15±6.15
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	1.01E+08± 6.94E+07	9.38E+07± 7.62E+07	7.28E+06± 9.19E+05	1.50E+06± 1.98E+05	3.33E+06± 4.67E+05

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los Monitoreos realizados durante las 23 semanas se encuentran en el anexo N°3

6. CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente subcapítulo se detalla el análisis de resultados obtenidos a lo largo de todo el periodo de investigación; así como las eficiencias de remoción obtenidas.

Los resultados obtenidos y las eficiencias de remoción de los parámetros evaluados en la presente tesis de investigación, fueron comparados con los resultados de cuatro investigaciones de los autores: Barzola (2010), Paredes (2012), Estrada (2016) y Moncada (2017). Estas investigaciones usaron el filtro lento de arena como sistema de tratamiento terciario, por ello nos sirvió solo como una referencia debido a que en esta investigación se usó el filtro lento como sistema de tratamiento primario y secundario.

6.1 TASA SUPERFICIAL Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO DE LOS FLA PILOTO.

Durante las cuatro carreras de filtración se mantuvo las características del lecho filtrante de cada FLA piloto, pero se varió la tasa superficial de mayor a menor en cada uno de ellos, con el también varió el tiempo de retención hidráulica.

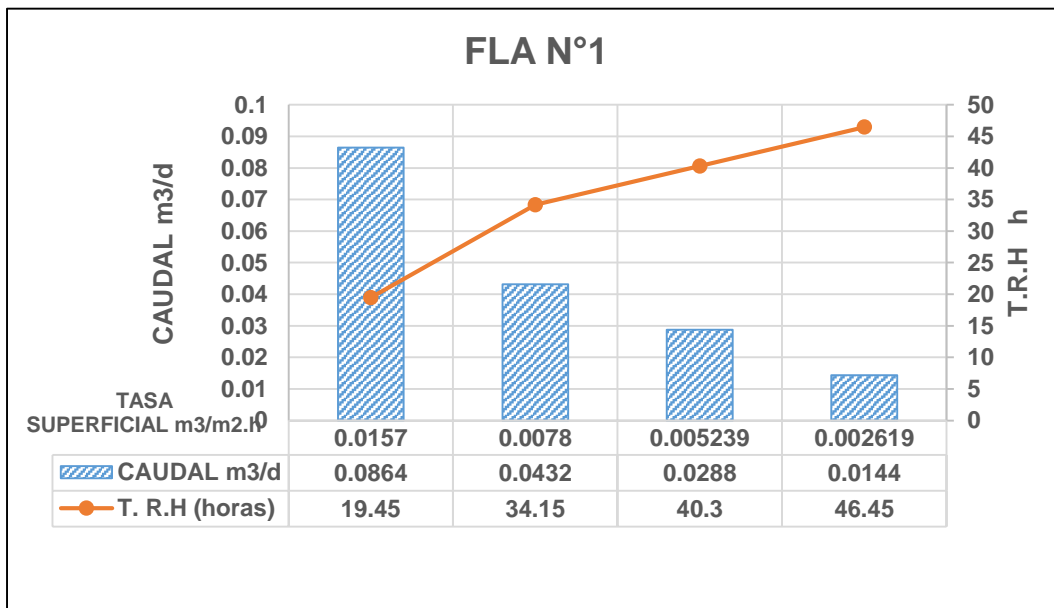


Gráfico N° 2 Tasas superficiales, Caudales de ingreso y TRH del FLA N°1 durante las cuatro carreras de filtración de esta investigación.

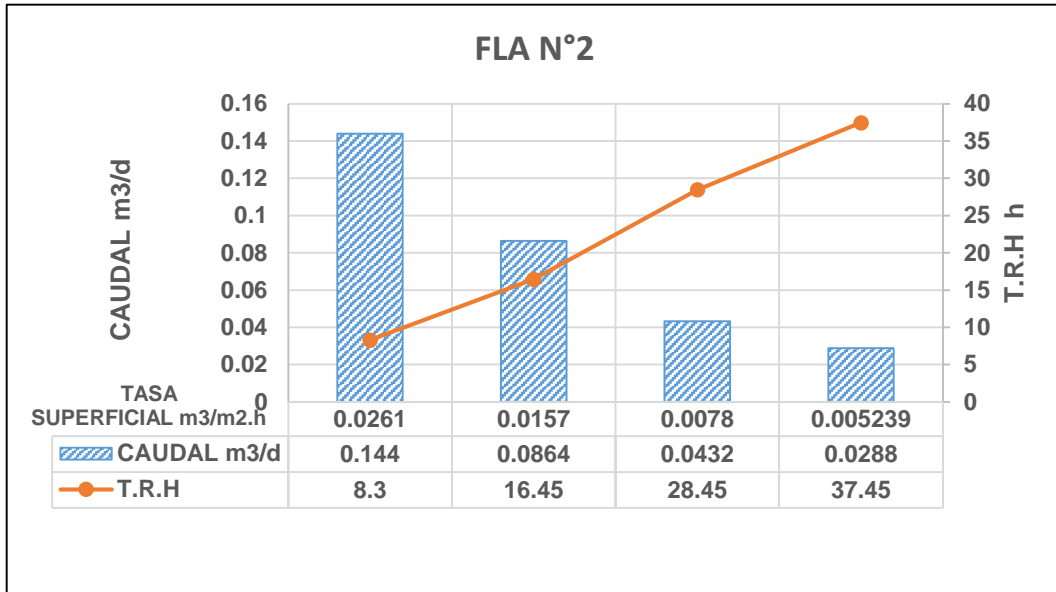


Gráfico N° 3 Tasas superficiales, Caudales de ingreso y TRH del FLA N°2 durante las cuatro carreras de filtración de esta investigación.

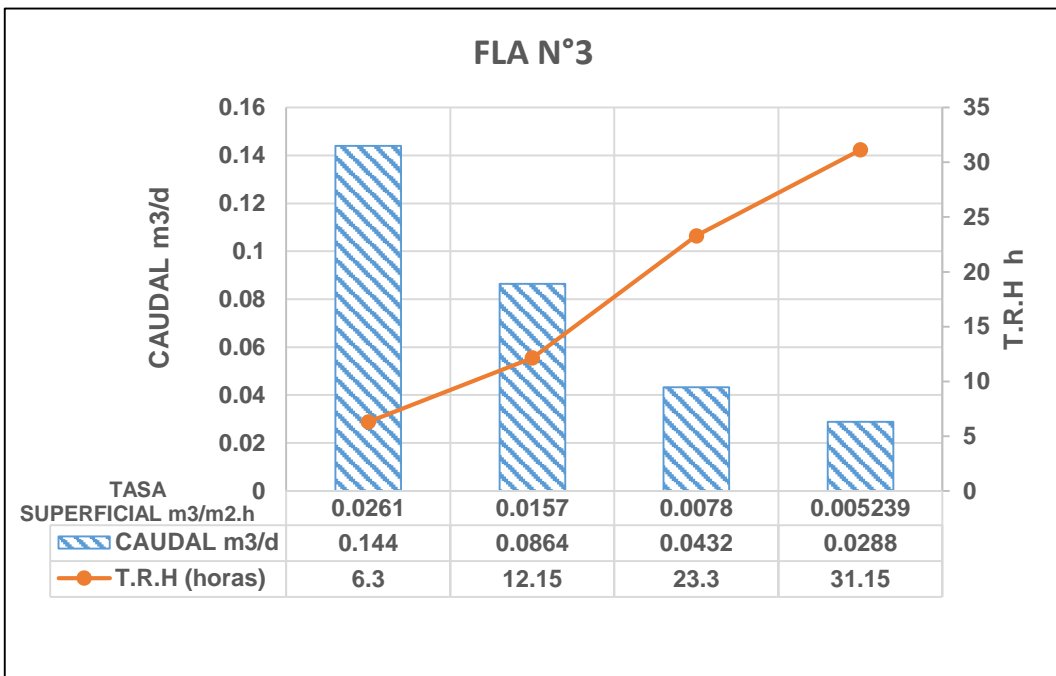


Gráfico N° 4 Tasas superficiales, Caudales de ingreso y TRH del FLA N°3 durante las cuatro carreras de filtración de esta investigación.

6.2 TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO (°C)

La temperatura del medio ambiente y las muestras se midió diariamente (de lunes a viernes) durante las cuatro carreras de filtración de los tres FLA piloto.

Las muestras para la determinación de la temperatura (°C) fueron tomadas en los cinco puntos de medición, a las 11 de la mañana con un margen de error de los tiempos de muestreo de (± 10 minutos).

La temperatura ambiental se midió in situ con un termómetro ambiental de pared con bulbo de mercurio.

Del gráfico N°5 se observa que la temperatura del medio ambiente es mayor que la temperatura de los puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.

Del gráfico N°5 se observa que la temperatura en el punto de muestreo del afluente de los FLA piloto tiende a ser menor que el agua residual doméstica pretratada, ello se debió a que el agua residual pretratada se almacenó en el tanque presedimentador y tuvo un tiempo de retención hidráulico, también influyo el hecho de que el tanque presedimentador estuvo ubicado en un área techada.

Del gráfico N°5 se observa que la temperatura en el punto de muestreo del efluente de los FLA piloto tiende a ser menor que el afluente de los FLA piloto, esto se debió a que las aguas residuales al pasar por el medio filtrante tienen un tiempo de retención hidráulico.

En la presente investigación se registró una temperatura promedio en el afluente de los FLA de 24.76°C y en el efluente de 24.28°C, en el caso de la investigación realizada por Barzola (2010), registró una temperatura promedio en el afluente de 25.98°C y en el efluente de 17.27°C. En tanto que en la investigación realizada Paredes (2012) se registró una temperatura promedio en el afluente de 22°C y en el efluente de 21°C. Existe una tendencia de disminuir la temperatura en el interior del filtro lento de arena.

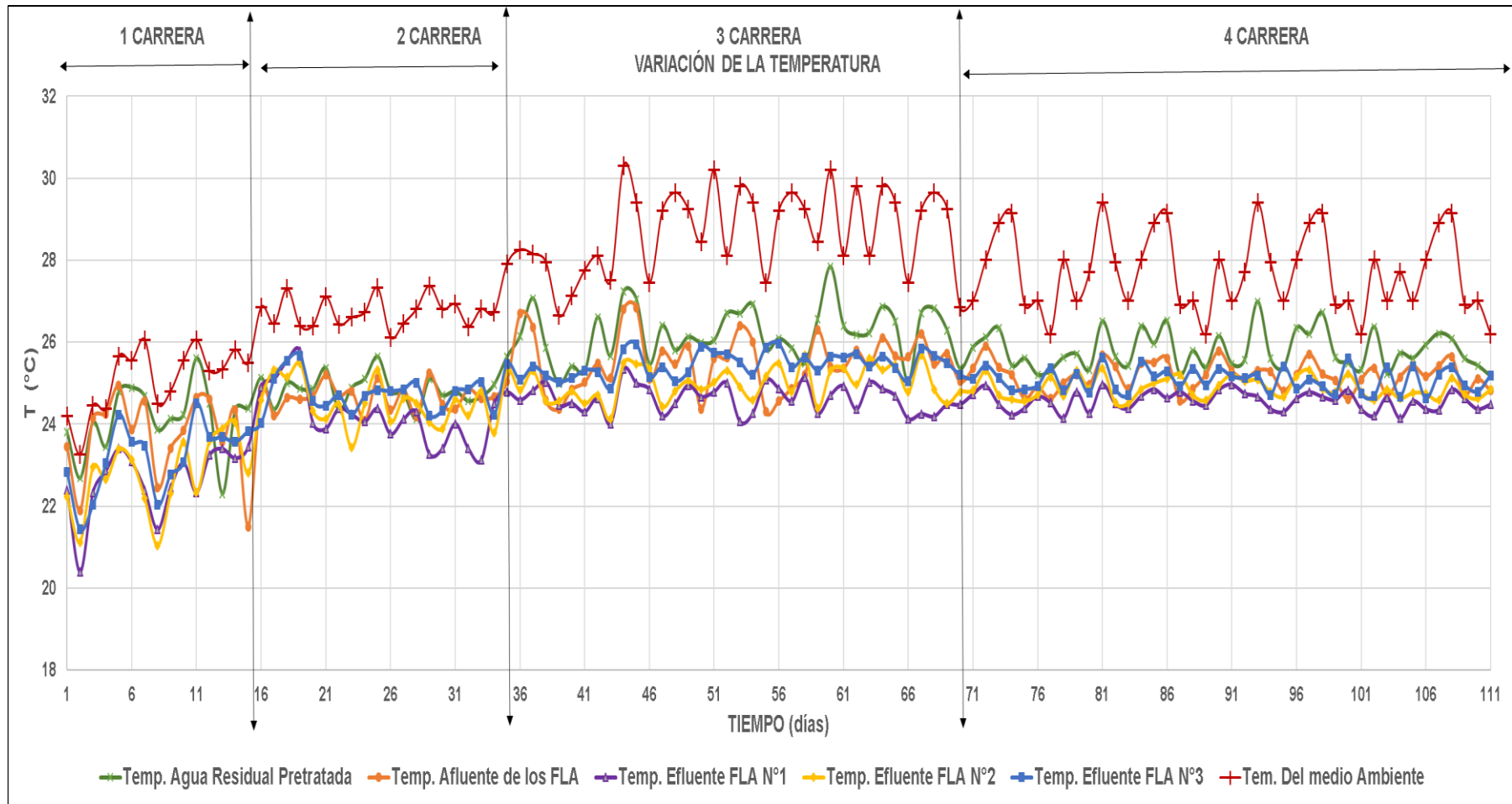


Gráfico N° 5 Variación de la temperatura en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.

6.3 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

Al interior de los FLA piloto se lleva a cabo un proceso anaeróbico, es decir disminuye la actividad respiratoria, en consecuencia, los efluentes de los FLA piloto tienen un incremento del pH por la reducción del nivel del dióxido de carbono.

Del gráfico N°6 se observa que el pH en los puntos de muestreo de los efluentes de los FLA piloto tiende a incrementarse con respecto al afluente de los FLA piloto.

Para el caso de la muestra del afluente de los FLA piloto, (Ver gráfico N°6) el pH tuvo un valor diario mínimo de 6.76 y diario máximo de 7.47 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH diario promedio de 7.19 durante estas 23 semanas.

Para el caso de la muestra del efluente del FLA N°1, (Ver gráfico N°6) el pH tuvo un valor diario mínimo de 7.33 y diario máximo de 7.95 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH diario promedio de 7.68 durante estas 23 semanas.

Para el caso de la muestra del efluente del FLA N°2, (Ver gráfico N°6) el pH tuvo un valor diario mínimo de 7.18 y diario máximo de 7.78 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH diario promedio de 7.55 durante estas 23 semanas.

Para el caso de la muestra del efluente del FLA N°3, (Ver gráfico N°6) el pH tuvo un valor diario mínimo de 7.06 y diario máximo de 7.62 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH diario promedio de 7.38 durante estas 23 semanas.

En la presente investigación se registró un pH promedio en el afluente de los FLA de 7.22 y en el efluente de 7.54, en el caso de la investigación realizada por Barzola (2010), registró un pH promedio en el afluente de 6.96 y en el efluente de 7.16. En tanto que en la investigación realizada Paredes (2012) se registró un pH promedio en el afluente de 7.5 y en el efluente de 6.5. Existe una tendencia de aumentar el pH en el interior de los filtros lentos, a excepción de Paredes (2012).

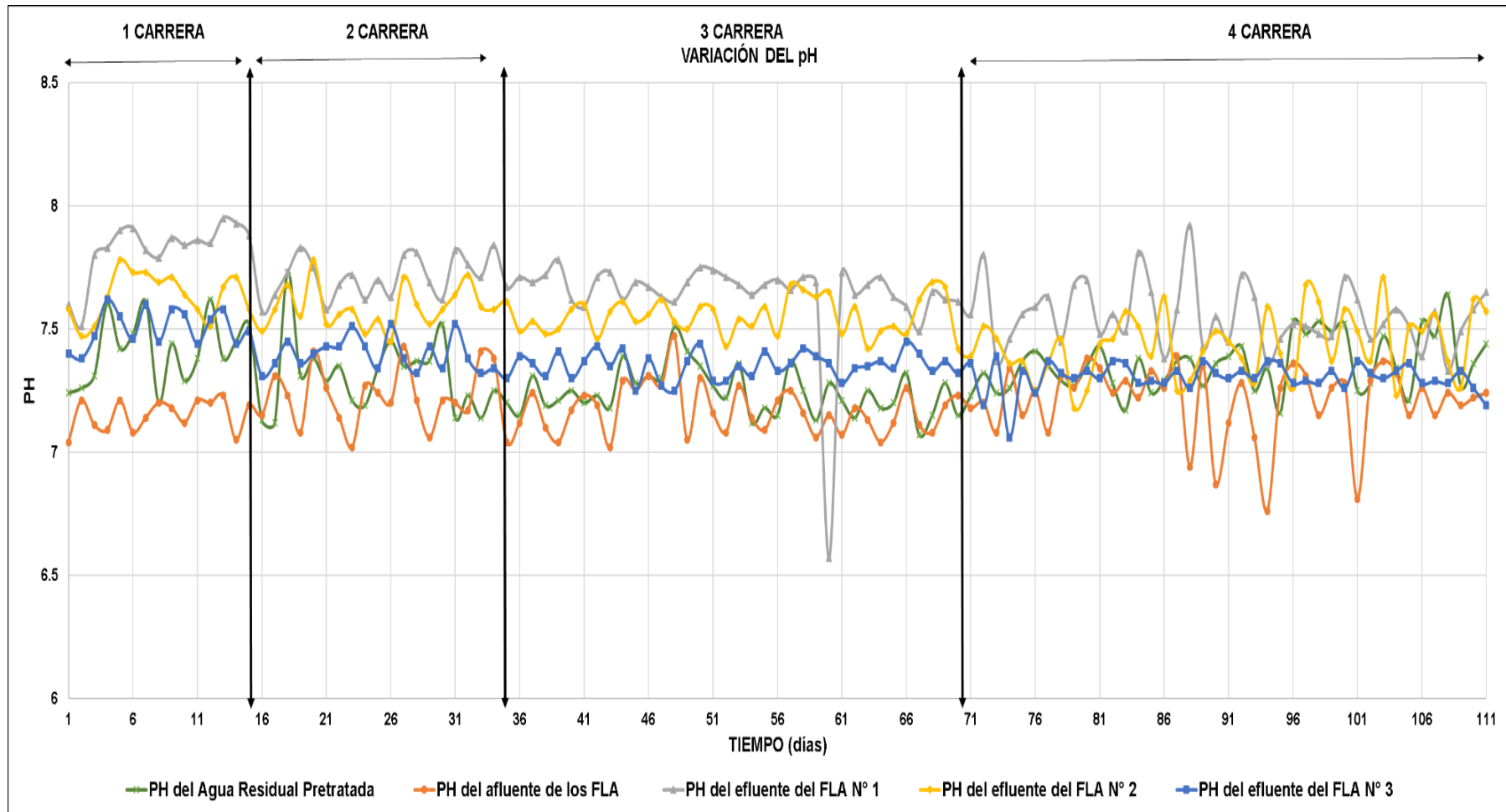


Gráfico N° 6 Variación del pH en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.

6.4 OXÍGENO DISUELTO (OD mg/L)

El oxígeno disuelto de las muestras se midió diariamente (de lunes a viernes) durante las cuatro carreras de filtración de los tres FLA piloto.

Las muestras para la determinación del OD (mg/L) fueron tomadas en los cinco puntos de medición, a las 11 de la mañana con un margen de error de los tiempos de muestreo de (± 10 minutos).

Del gráfico N°7 se observa que el OD del Afluente de los FLA piloto fue 0 mg/L durante las cuatro carreras de filtración. Esto se debió a que en el presedimentador se llevó a cabo un proceso anaeróbico y el punto de muestreo estuvo ubicado justo a la salida del distribuidor de caudales, de ese modo se evitó la aireación de la muestra.

Del gráfico N°7 se observa que el OD de los efluentes de los FLA N°2 y FLA N°3 fue 0 mg/L durante la primera y segunda carrera de filtración. Esto se debió a que en el interior de los FLA piloto se dio un proceso anaerobio y para evitar la aireación de las muestras, se tomaron justo en la tubería de salida del efluente de cada unidad de filtración.

En la tercera y cuarta carrera de filtración de los FLA piloto, se redujo la tasa superficial de filtración, lo cual conllevó a almacenar los efluentes de cada unidad de filtración con el fin de facilitar la toma de muestras, esto permitió que el aire del medio ambiente interactúe con las muestras. Del gráfico N°7 se observa que los efluentes de los FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la tercera y cuarta carrera de filtración tienen presencia de OD mg/L en un rango de (3.58 mg/L – 7.32 mg/L).

En la presente investigación se registró un promedio del OD en el afluente de los FLA de 0.0mg/L y en el efluente de 3.07 mg/L, en el caso de la investigación realizada por Estrada (2016), registró un OD promedio en el afluente de 2.72 mg/L y en el efluente de 0.0 mg/L. En el interior del FLA se da un proceso anaerobio, por ende, el efluente tiene OD 0.0 mg/L, en esta investigación hay presencia de OD en el efluente debido a que se almacenó en un recipiente y allí entró en contacto con el aire.

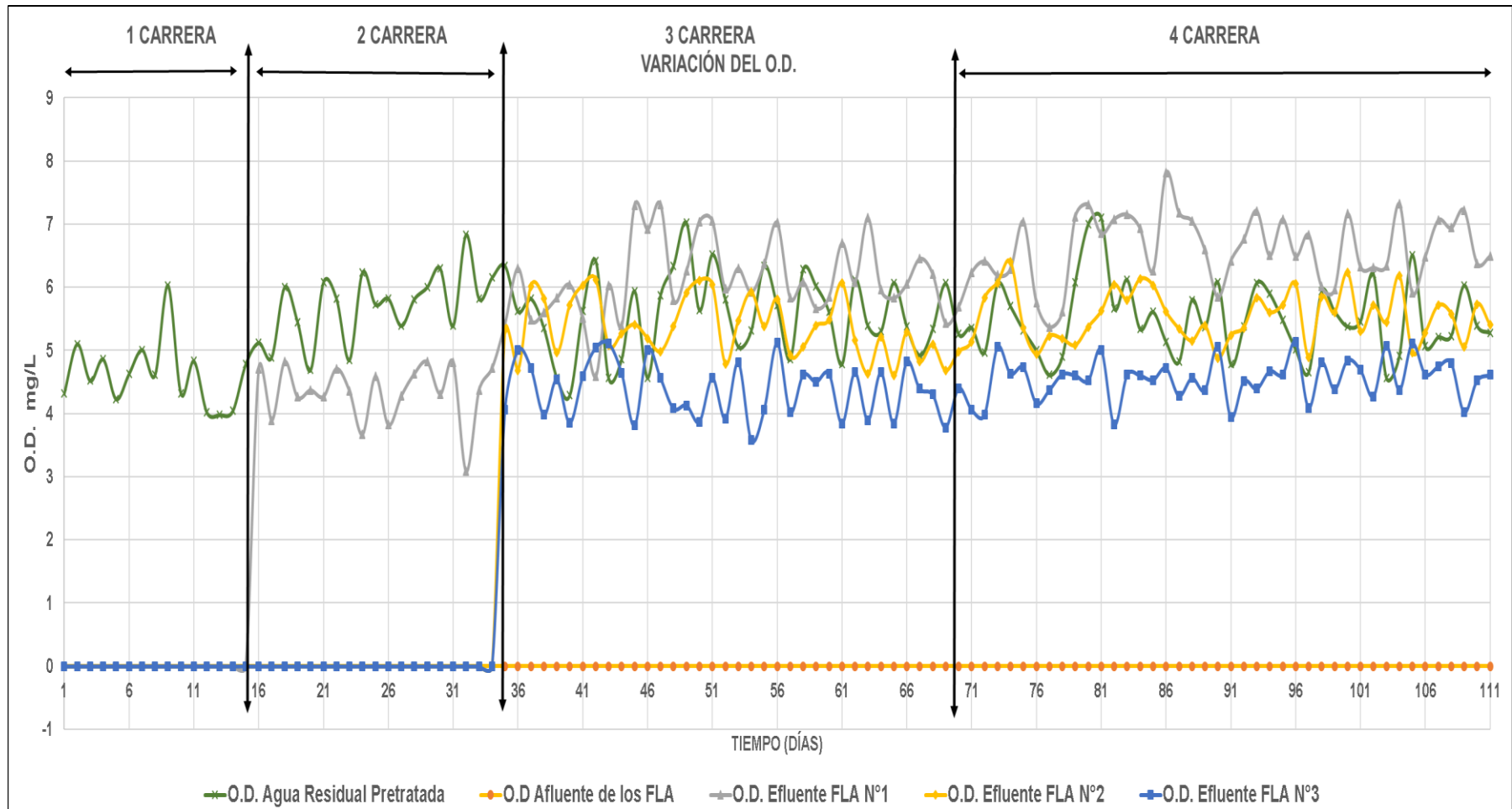


Gráfico N° 7 Variación del OD en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración.

6.5 TURBIEDAD

Durante la primera y segunda carrera de filtración el tanque presedimentador funcionó como un tanque de paso, es decir que FLA piloto trabajaron como un sistema de tratamiento primario. Del gráfico N°8 se observa que la turbiedad del agua residual pretratada es similar al del efluente del presedimentador, esto evidencia que en el presedimentador no hubo remoción de la turbiedad, por el contrario, hubo un incremento.

Durante la tercera y cuarta carrera de filtración los FLA trabajaron tasas superficiales muy pequeños, lo cual generó que el presedimentador trabajare como un sistema de tratamiento primario y los filtros lentos de arena como un sistema de tratamiento secundario. Del gráfico N°8 se observa que la turbiedad del efluente del presedimentador tiende a reducirse con respecto al agua residual pretratada.

Del gráfico N°8 se observa que la turbiedad en los puntos de muestreo de los efluentes de los FLA piloto disminuye con respecto al afluente de los FLA piloto, debido a que los sólidos en suspensión fueron retenidos en el medio filtrante de los filtros lentos de arena piloto, dicho proceso fue mostrando mejores resultados a medida que se fue disminuyendo la tasa superficial de filtración.

Durante todas las carreras de filtración los filtros lentos (FLA N°2 y FLA N°3) trabajaron con igual tasa superficial, del gráfico N°9 se observa que durante la primera y segunda carrera de filtración el FLA N°2 tiene mayor eficiencia de remoción de la turbiedad que el FLA N°3.

Del gráfico N°9 se observa que el FLA N°1 tiene mayor eficiencia de remoción de la turbiedad que los filtros lento (FLA N°2 y FLA N°3), esto fue debido a que en todas las carreras de filtración el FLA N°1 trabajó con una tasa superficial menor que los filtros lento (FLA N°2 y FLA N°3).

Si comparamos los resultados de la remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto con la misma tasa superficial, el FLA N°2 nos muestra mejores resultados de eficiencia de remoción de la turbiedad que los filtros lentos (FLA N°1 y FLA N°3).

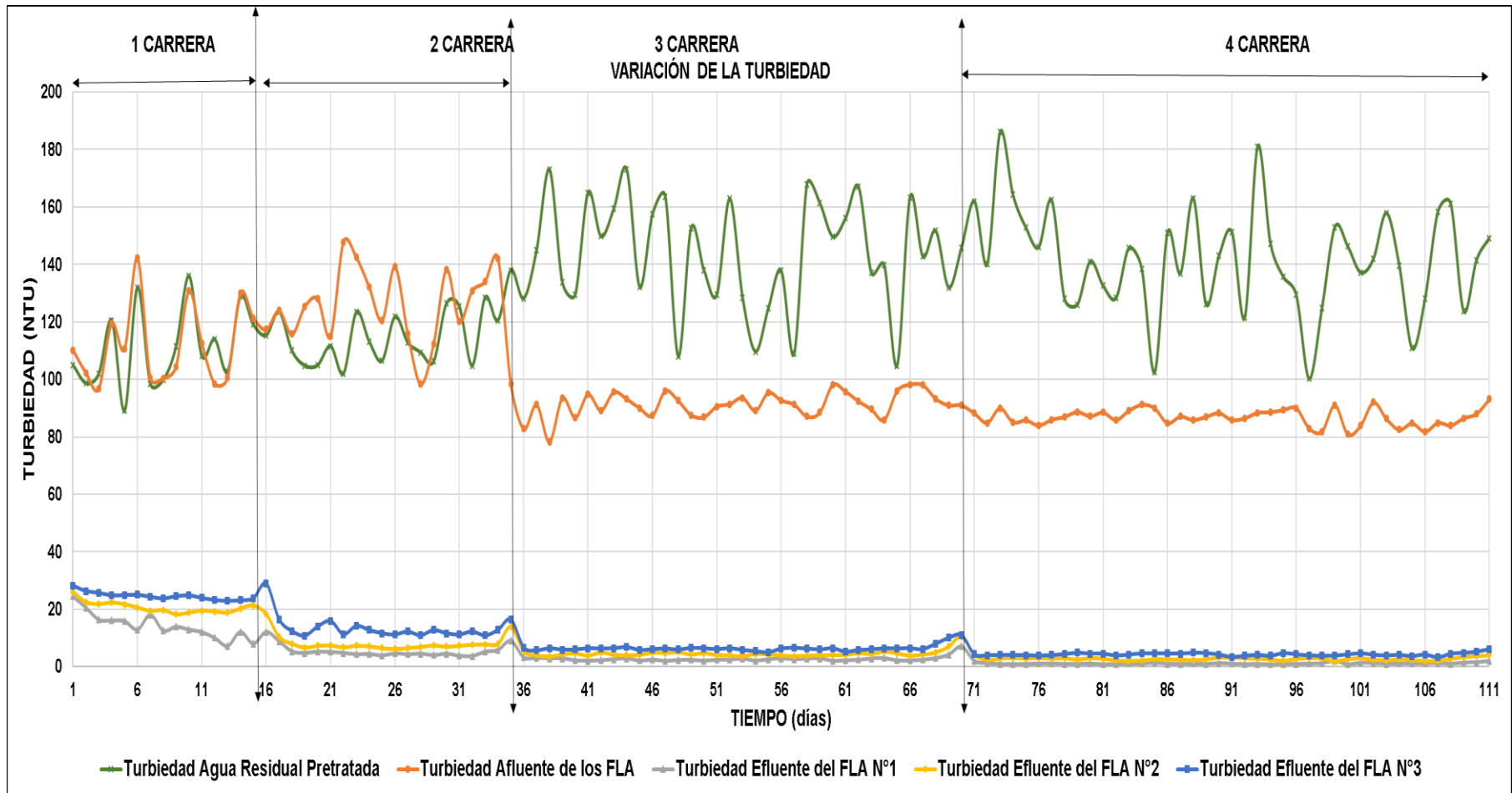


Gráfico N° 8 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de muestreo durante las cuatro carreras de filtración

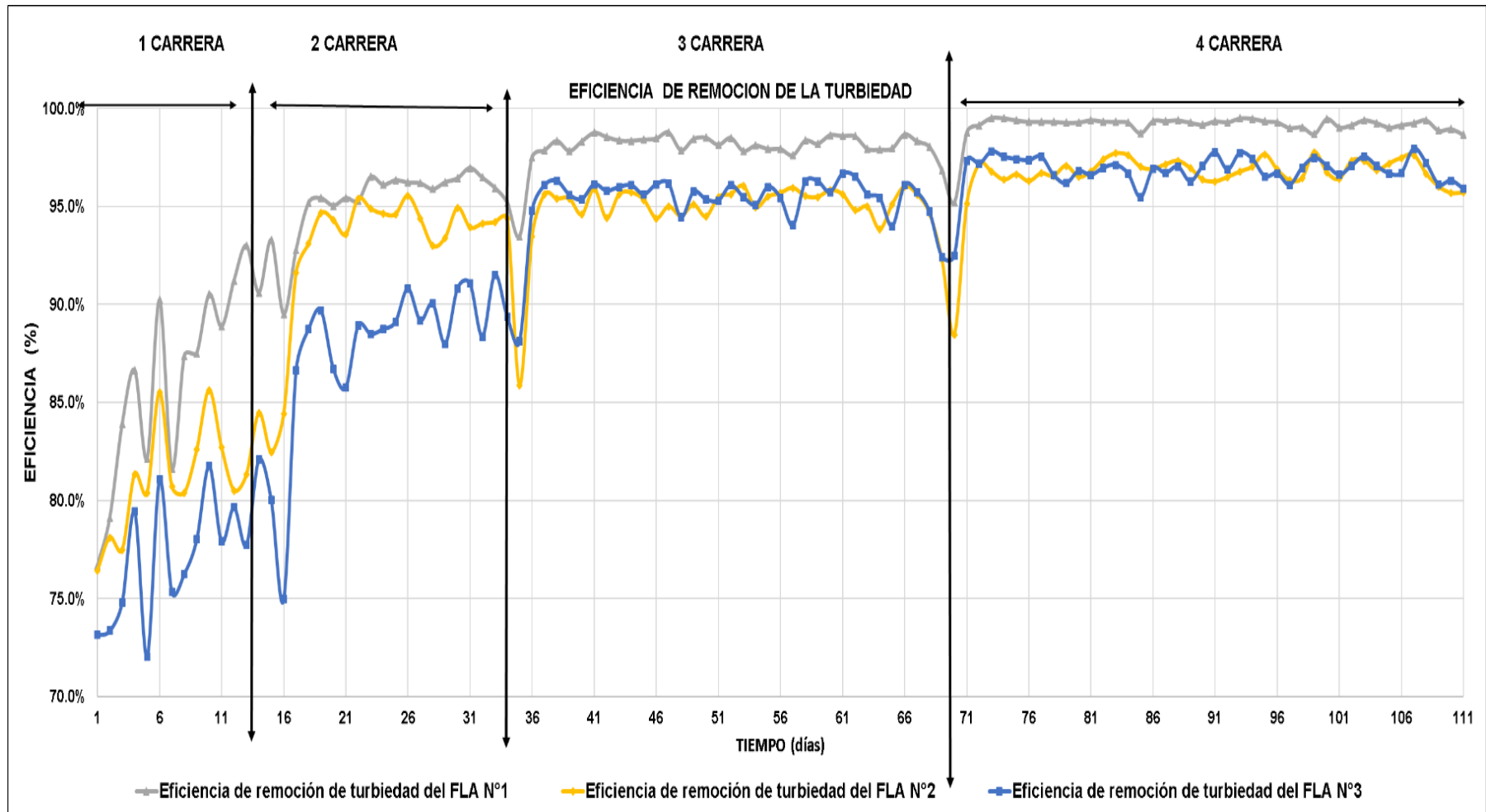


Gráfico N° 9 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante las cuatro carreras de filtración.

6.6 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST MG/L)

Durante la segunda carrera de filtración, del gráfico N°10 se observa que los SST del agua residual doméstica pretratada y el efluente del presedimentador tienen valores similares, porque el presedimentador es solo un recipiente de paso.

Las tasas superficiales de filtración de los FLA piloto se fueron disminuyendo en cada carrera de filtración, pero en la tercera y cuarta carrera de filtración se redujeron a tasas superficiales más pequeñas, lo cual generó que el presedimentador trabaje como un sistema de tratamiento primario. Del gráfico N°10 se observa que los sólidos suspendidos totales del efluente del presedimentador (afluente de los FLA piloto) tiende a reducirse con respecto al agua residual pretratada.

Del gráfico N°10 se observa que los SST en los puntos de muestreo de los efluentes de los FLA piloto disminuyen con respecto al afluente de los FLA piloto, debido a que los sólidos suspendidos fueron retenidos en el medio filtrante de los filtros lentos de arena piloto, dicho proceso fue mostrando mejores resultados a medida que se fue disminuyendo la tasa superficial de filtración.

Del gráfico N°11 se observa que, durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración el FLAN°2 tiene mayor eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales que el FLA N°3, debido a que el FLA N°2 tiene menor tamaño efectivo (D'_{10} mm) del medio filtrante que el FLA N°3, (0.76 mm y 1.51 mm respectivamente).

Del gráfico N°11 se observa que el FLA N°1 tiene mayor eficiencia que los filtros lento (FLA N°2 y FLA N°3), esto fue debido a que en todas las carreras de filtración el FLA N°1 trabajó con una tasa superficial menor que los filtros lento (FLA N°2 y FLA N°3), además el FLA N°1 tiene menor tamaño efectivo (D'_{10} mm).

En la presente investigación se registró un promedio de 94.45% de remoción de los SST. De acuerdo a la investigación de Paredes (2012), el porcentaje de remoción de sólidos totales en promedio fue de 86%, para el filtro lento de arena.

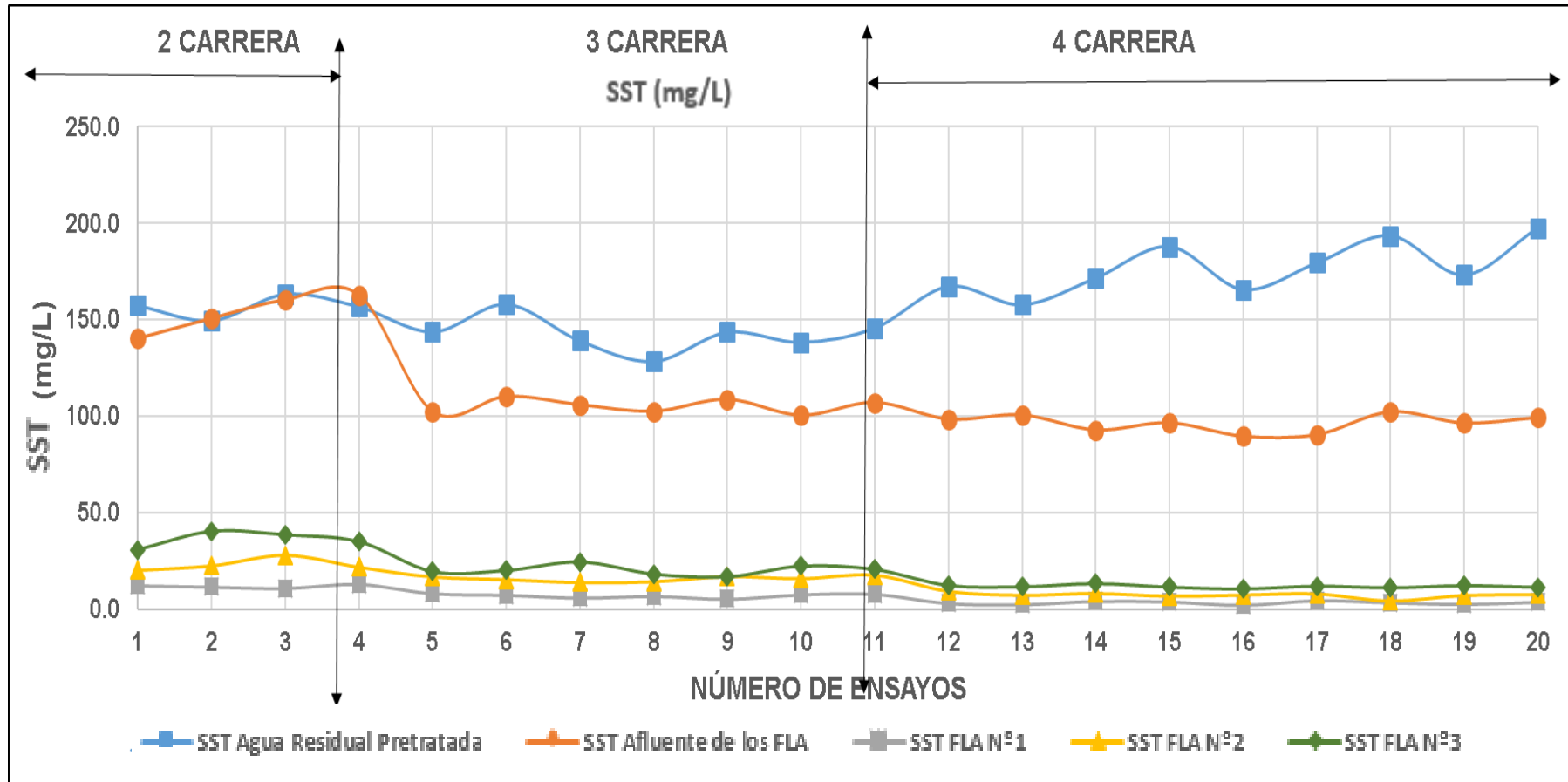


Gráfico N° 10 Variación de loa SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

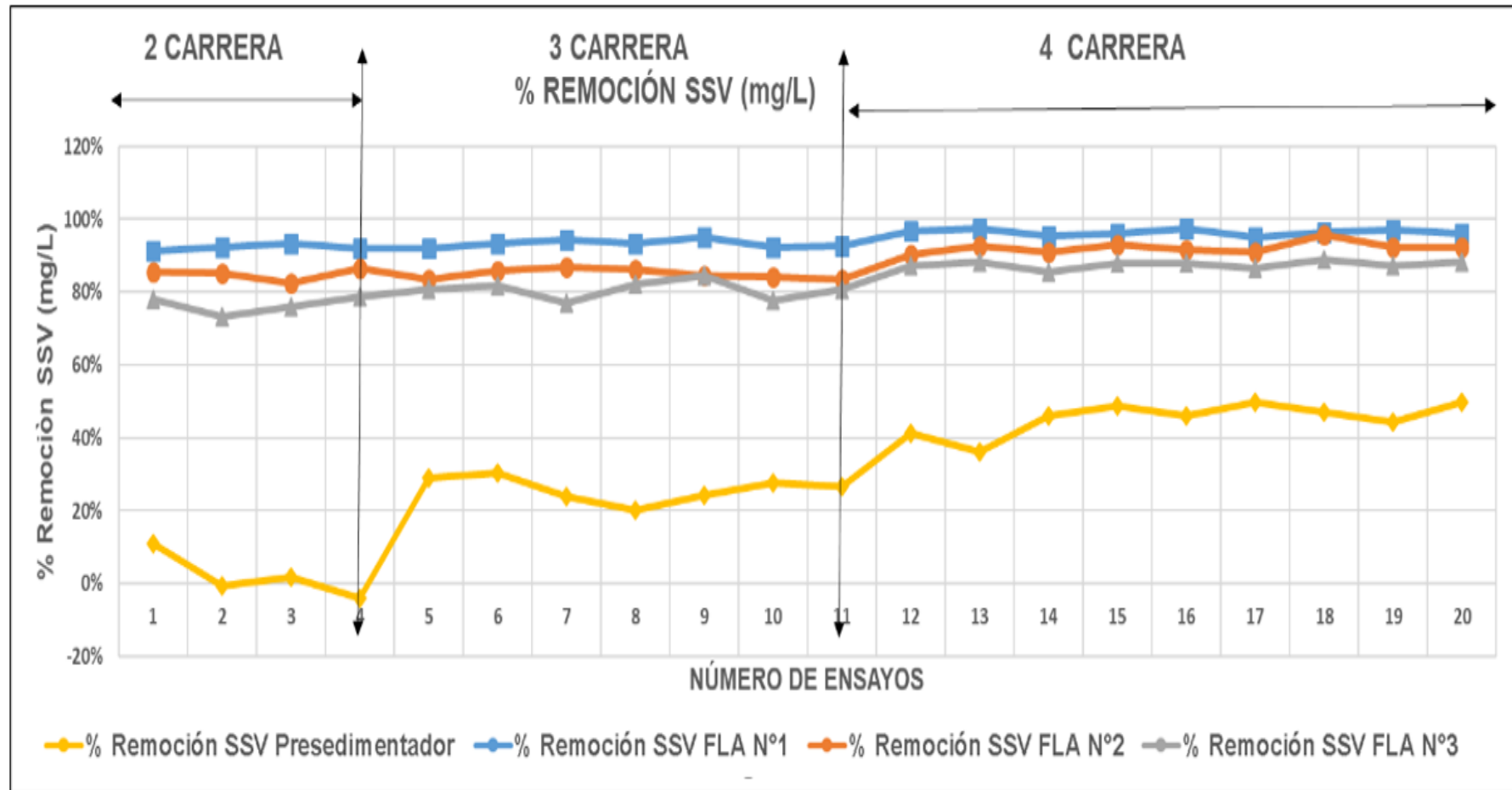


Gráfico N° 11 Eficiencia de remoción de los SST mg/l del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

6.7 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅ mg/L)

Del gráfico N°12 se observa que la DBO del agua residual pretratada está alrededor de 140 mg/L, esto se debe a la buena operación y mantenimiento del pretratamiento de la PTAR -CITRAR, por otro lado el agua residual doméstica pretratada tiene baja concentración de la DBO mg/L probablemente porque el recorrido de las aguas residuales domésticas provenientes de los asentamientos humanos El Milagro y El Carmen es corto, es decir la materia orgánica e inorgánica presente en las aguas residuales en un corto recorrido tiene menor probabilidad de deshacerse , lo cual ayuda a removerlos en el pretratamiento.

Del gráfico N°12 se observa que la DBO (mg/L) en los puntos de muestreo de los efluentes de los FLA piloto disminuyen con respecto al afluente de los FLA piloto, debido a que la materia orgánica presente en el afluente de los FLA piloto es degradada por los microorganismos presentes en la capa biológica que se formó en los medios filtrantes de los filtros lentos de arena piloto, dicho proceso fue mostrando mejores resultados a medida que se fue disminuyendo la tasa superficial de filtración.

Del gráfico N°13 se observa que, durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración el FLAN°2 tiene mayor eficiencia de remoción de la DBO (mg/L) que el FLA N°3, debido a que tiene menor tamaño efectivo (D'10 mm) del medio filtrante, (0.76 mm y 1.51 mm respectivamente).

Al disminuir la tasa superficial de filtración, aumento el tiempo de retención hidráulico de los filtros lento (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), lo cual benefició a la capa biológica presente en los medios filtrantes para hacer una mejor remoción de la DBO (mg/L).

En la presente investigación se registró un promedio de 80.41% de remoción de la DBO. De acuerdo a la investigación de Barzola (2010), Paredes (2012), Estrada (2016) y Moncada (2017), el porcentaje de remoción de la DBO en promedio fue de: 40.63%, 91.25%, 69% y 79.47% respectivamente. En la mayoría de las investigaciones el FLA tiene un buen porcentaje de remoción de la DBO.

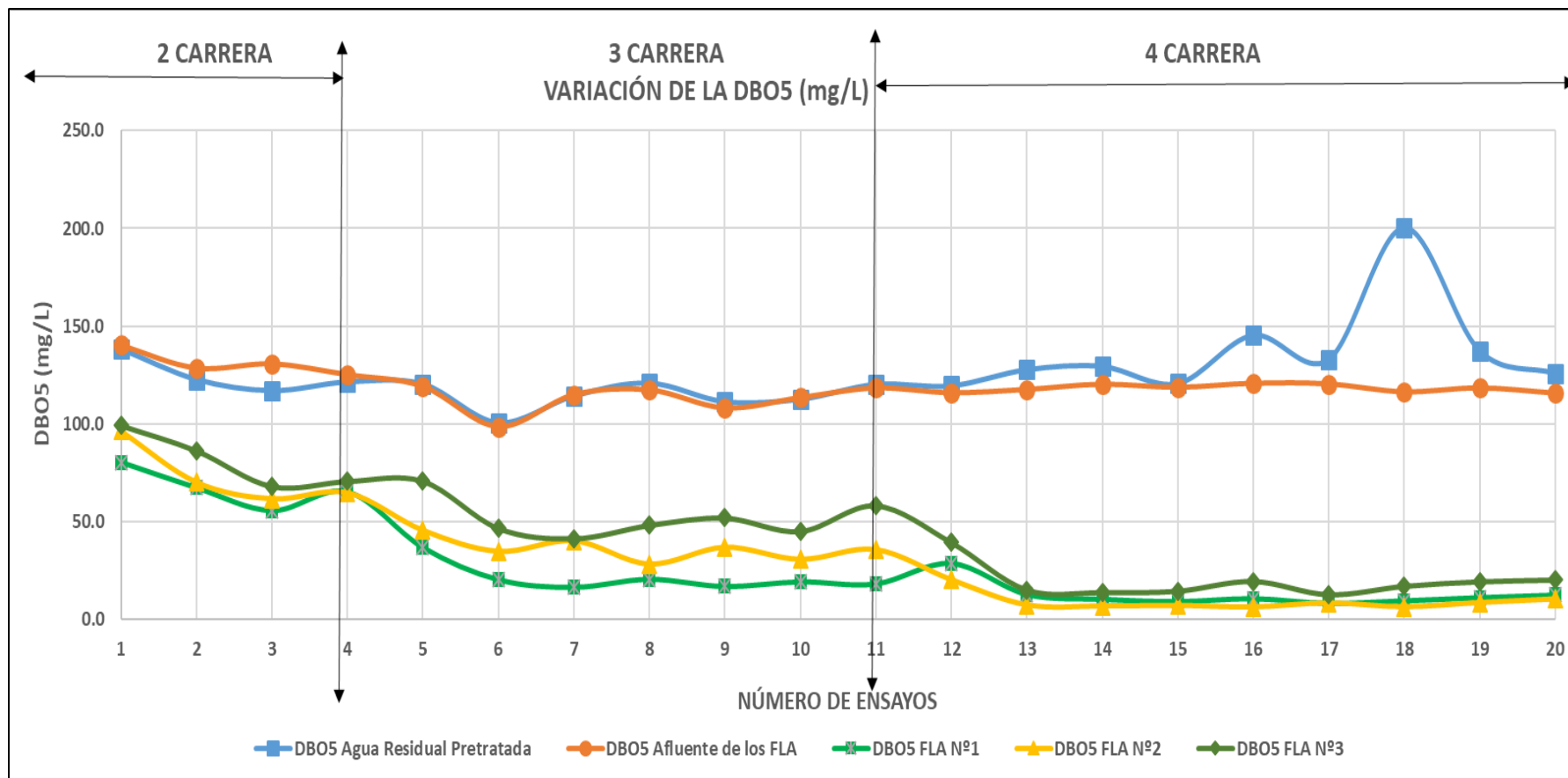


Gráfico N° 12 Variación de la DBO5 mg/L en los puntos de muestreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

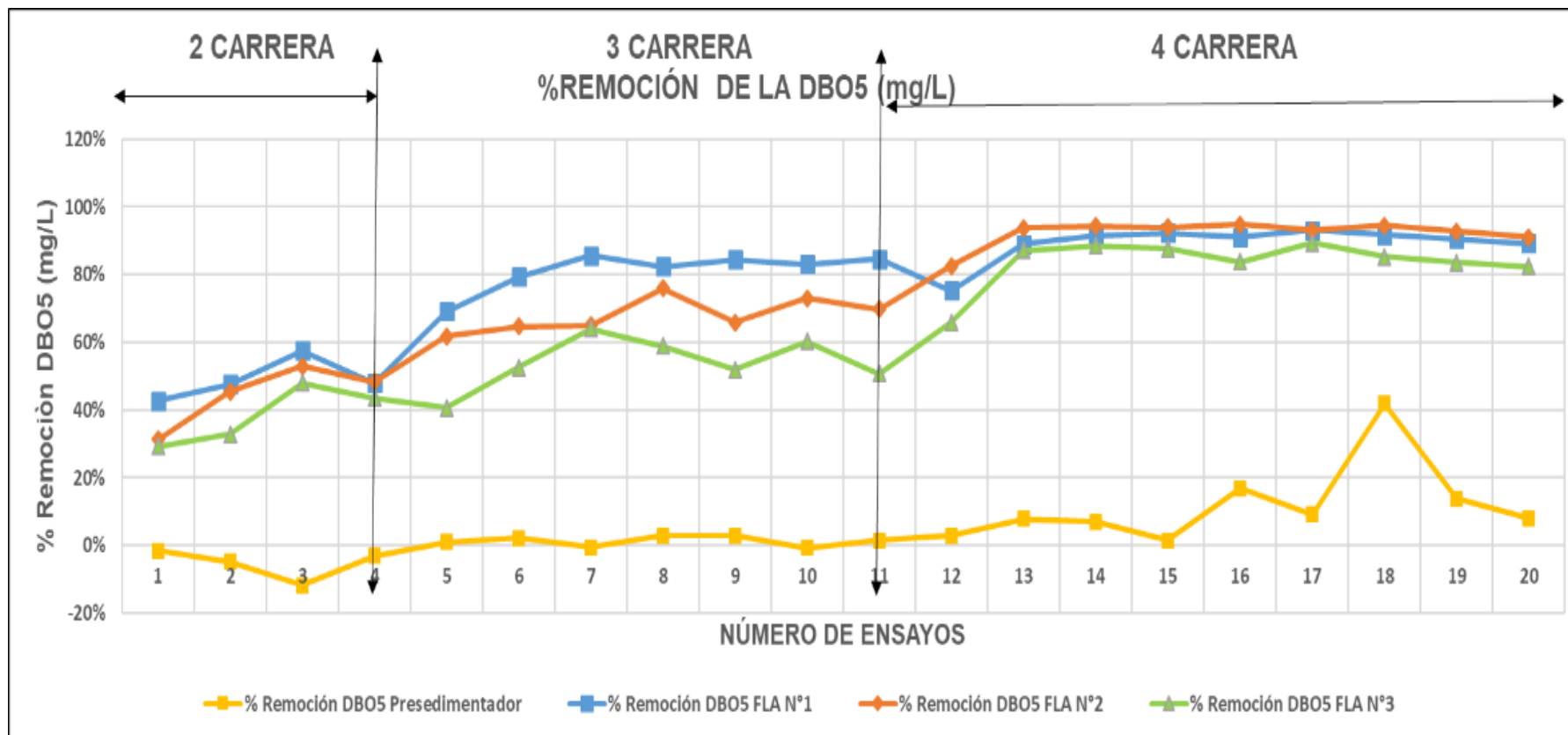


Gráfico N° 13 Eficiencia de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

6.8 Coliformes termotolerantes

Del gráfico N°14 se observa que, en el presedimentador no hay remoción de los coliformes termotolerantes, debido a que el presedimentador cumplió la función de remover una proporción de las partículas en suspensión, pero no de los coliformes termotolerantes. Hay algunas excepciones donde la concentración de coliformes termotolerantes en el efluente del presedimentador es menor al afluente (agua residual pretratada), dicha reducción no es porque se removió en el presedimentador, sino porque al momento de tomar las muestras del afluente y efluente del presedimentador no se tomó como muestra la misma agua residual pretratada, es otra.

De los gráficos N°14 y N°15 se observa que, la concentración de coliformes termotolerantes en los puntos de muestreo de los efluentes de los FLA piloto disminuyen con respecto al afluente de los FLA piloto, debido a que fueron removidos por la capa biológica, dicho proceso fue mostrando mejores resultados a medida que se fue disminuyendo la tasa superficial de filtración y aumentando el tiempo de retención hidráulico.

Del gráfico N°16 se observa que, durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración el FLAN°2 tiene mayor eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes que el FLA N°3, debido a que tiene menor tamaño efectivo ($D'10$ mm), (0.76 mm y 1.51 mm respectivamente).

En la presente investigación se registró una remoción de coliformes termotolerantes de los FLA en un rango de (0.64log - 1.84log) como sistema de tratamiento primario y en un rango de (1.01log – 4.57log) como sistema de tratamiento terciario. De acuerdo a la investigación de Barzola (2010), la remoción de coliformes termotolerantes estuvo en el rango de (0.4log – 1.4 log) funcionando como sistema de tratamiento terciario, Paredes (2012), la remoción de coliformes totales estuvo en el rango de (0.5log – 0.9log) funcionando como sistema de tratamiento terciario. La eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes es inversamente proporcional a la tasa superficial de filtración, a menor tasa superficial los FLA tendrán mejor eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes.

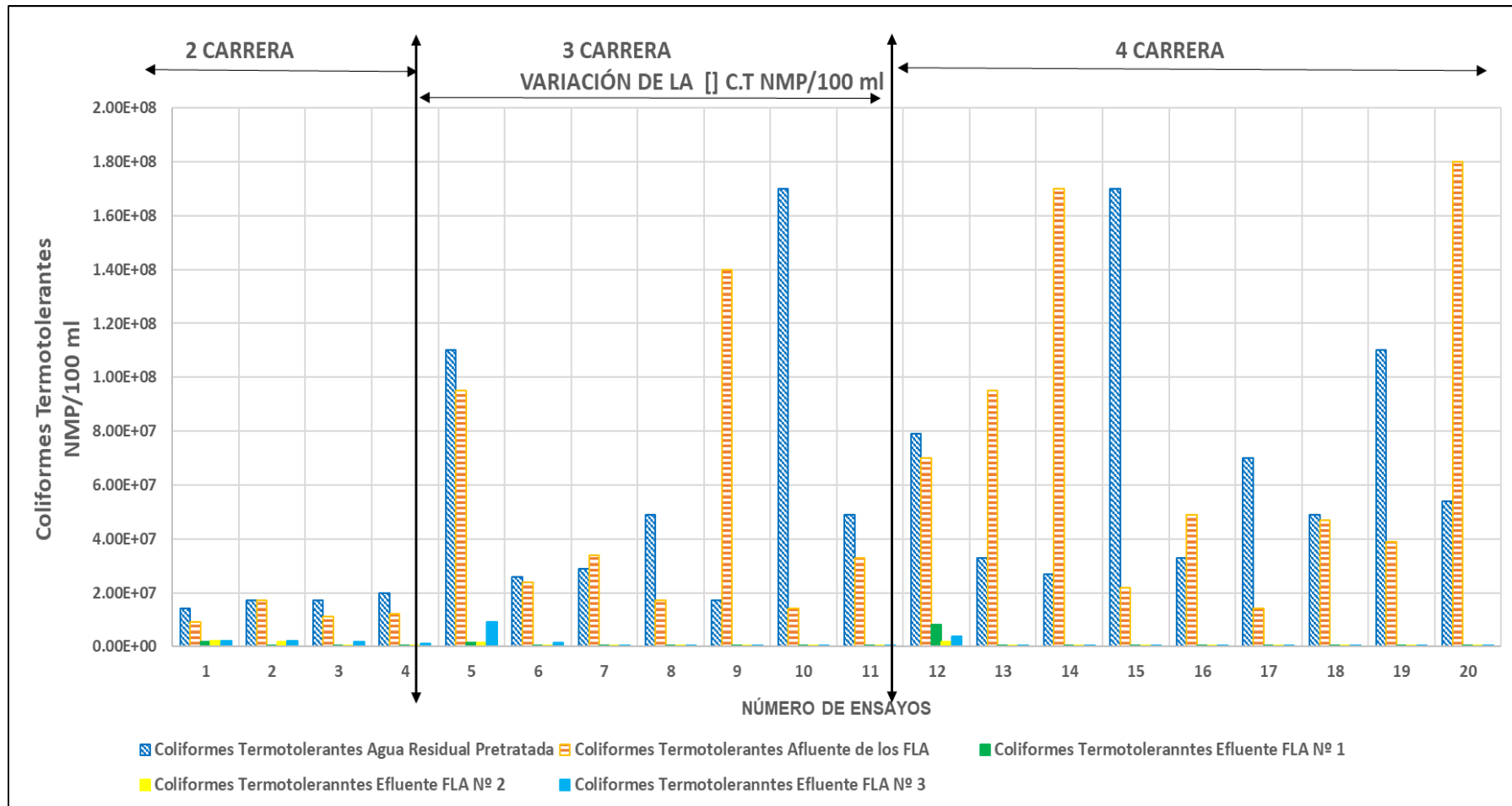


Gráfico N° 14 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los puntos de muestreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

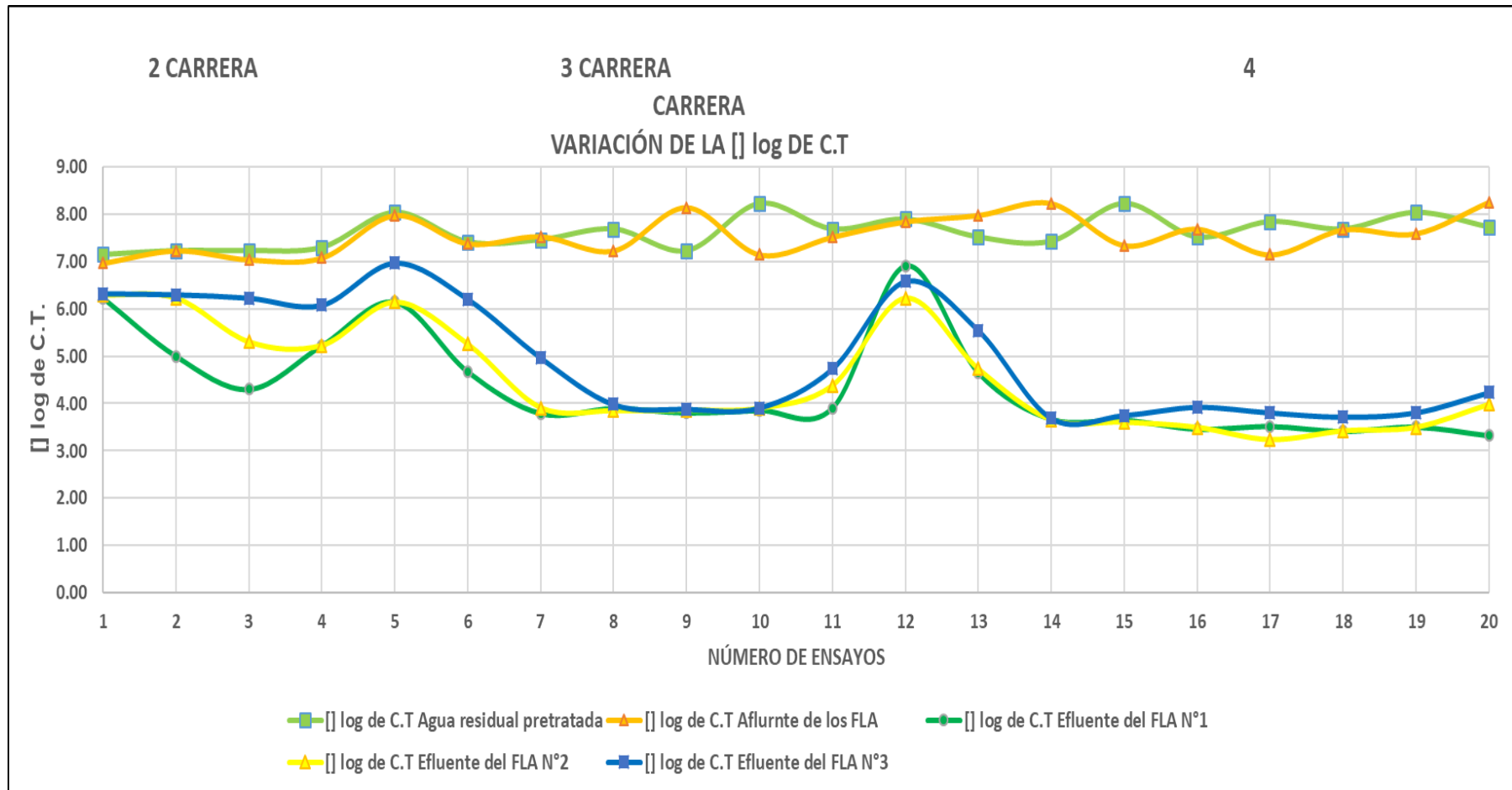


Gráfico N° 15 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logarítmicamente, en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración

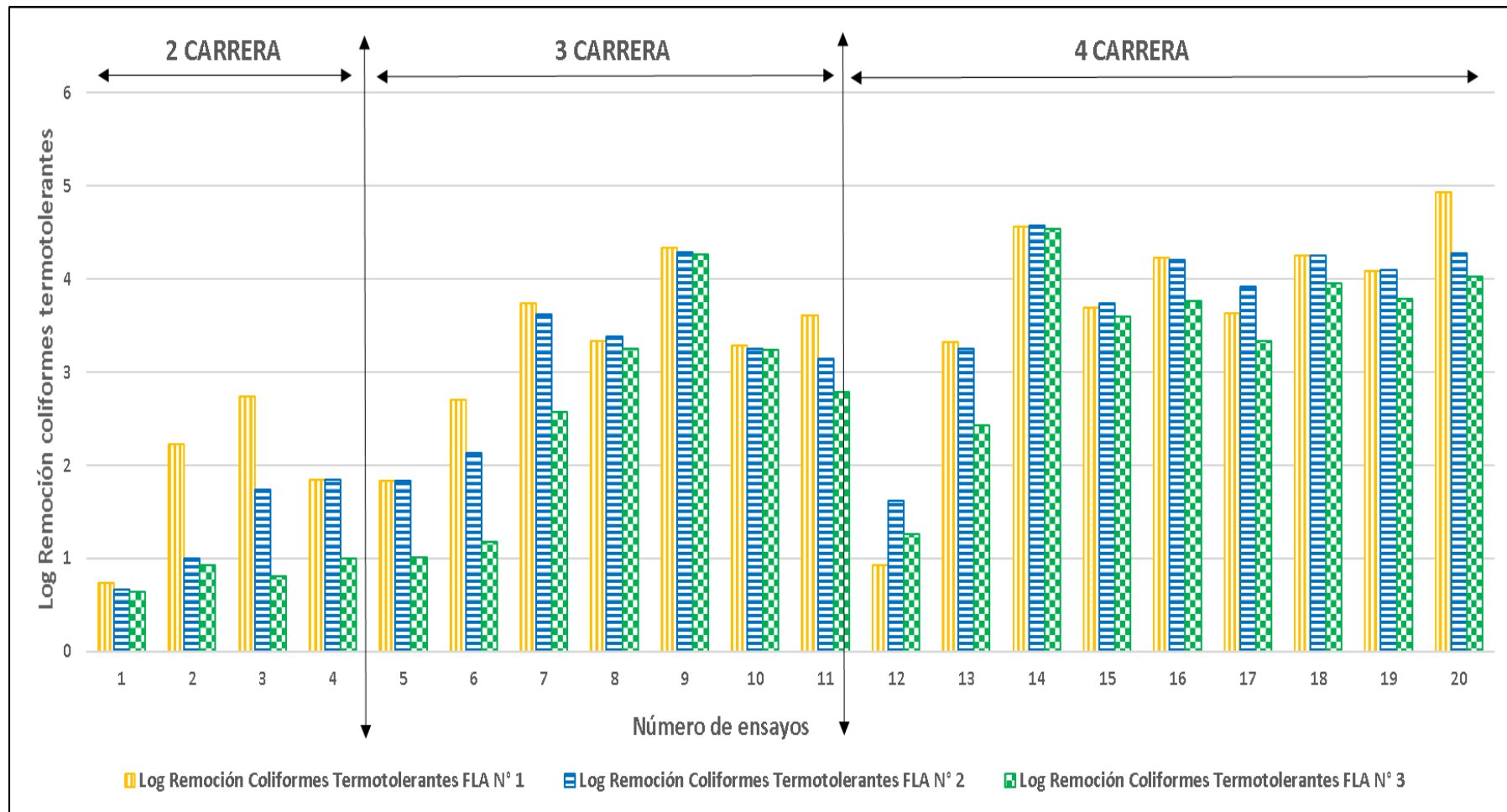


Gráfico N° 16 Remoción de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

DE ACUERDO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS MEDICIONES DIARIAS Y SEMANALES SE OBSERVA LO SIGUIENTE:

- Durante la primera carrera de filtración los FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 operaron con tasas superficiales de 0.0157, 0.0261, 0.0261 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y tiempo de retención hidráulico de 19.45, 8.3, 6.3 horas respectivamente, el afluyente de los filtros tuvo el valor máximo de turbiedad de 142.2 NTU, logrando una eficiencia de remoción de 90.2%, 85.5% y 81.1% respectivamente.
- Durante la segunda carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°1 operó con una tasa superficial de 0.0078 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 34.15 horas. El afluyente tuvo valores máximos de turbiedad, SST mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 147.8 NTU, 162.8 mg/l, 130.8 mg/l y $1.70\text{E} + 07$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 95.3%, 92%, 52% y 2.23 log respectivamente.
- Durante la segunda carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°2 operó con una tasa superficial de 0.0157 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 16.45 horas. El afluyente tuvo valores máximos de turbiedad, SST mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 147.8 NTU, 162.8 mg/l, 130.8 mg/l y $1.70\text{E} + 07$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 95.4%, 87%, 53% y 1 log respectivamente.
- Durante la segunda carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°3 operó con una tasa superficial de 0.0157 $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 12.15 horas. El afluyente tuvo valores máximos de turbiedad, SST mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 147.8 NTU, 162.8 mg/l, 130.8 mg/l y $1.70\text{E} + 07$

respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 88.9%, 79%, 48% y 0.929 log respectivamente.

- Durante la tercera carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°1 operó con una tasa superficial de $0.005239 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 40.3 horas. El afluente tuvo valores máximos de turbiedad, SST mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 98.2 NTU, 110.2 mg/l, 118.4 mg/l y $1.40\text{E} + 08$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 98.7%, 93%, 85% y 4.34 log respectivamente.
- Durante la tercera carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°2 operó con una tasa superficial de $0.0078 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 28.45 horas. El afluente tubo valores máximos de turbiedad, SST mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 98.2 NTU, 110.2 mg/l, 118.4 mg/l y $1.40\text{E} + 08$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 96%, 86%, 70% y 4.289 log respectivamente.
- Durante la tercera carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°3 operó con una tasa superficial de $0.0078 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 23.3 horas. El afluente tuvo valores máximos de turbiedad, SST mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 98.2 NTU, 110.2 mg/l, 118.4 mg/l y $1.40\text{E} + 08$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 96.1%, 82%, 51% y 4.265 log respectivamente.
- Durante la cuarta carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°1 operó con una tasa superficial de $0.002619 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 46.45 horas. El afluente tuvo valores máximos de turbiedad, SST mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 93.1 NTU, 102.2 mg/l, 130.8 mg/l y $1.70\text{E} + 08$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 98.7%, 97%, 91% y 4.558 log respectivamente.

- Durante la cuarta carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°2 operó con una tasa superficial de $0.005239 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 37.45 horas. El afluente tubo valores máximos de turbiedad, SSV mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 93.1 NTU, 102.2 mg/l, 130.8 mg/l y $1.70\text{E} + 08$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 95.7%, 96%, 95% y 4.577 log respectivamente.
- Durante la cuarta carrera de filtración el Filtro Lento de Arena N°3 operó con una tasa superficial de $0.005239 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ y un tiempo de retención hidráulico de 31.15 horas. El afluente tubo valores máximos de turbiedad, SSV mg/l, DBO mg/l y coliformes termotolerantes de 93.1 NTU, 102.2 mg/l, 130.8 mg/l y $1.70\text{E} + 08$ respectivamente, logrando una eficiencia de remoción de 95.9%, 89%, 84% y 4.540 log respectivamente.
- Durante la tercera y cuarta carrera de filtración, el tanque de almacenamiento cumple la función de Presedimentador debido a que se disminuyó significativamente la tasa superficial de filtración de los FLA piloto, lo cual se evidenció en la disminución del valor de la turbiedad. En esta etapa el tanque de almacenamiento de agua residual funcionó como la primera unidad de tratamiento (tratamiento primario), almacenando y reteniendo los sólidos en suspensión, evitando la rápida colmatación de los FLA Piloto. En estas carreras de filtración los FLA trabajaron como el tratamiento secundario.
- Al evaluar la temperatura, se determinó que hay disminución de la temperatura del efluente con respecto al afluente de cada FLA Piloto esto se debe al prolongado tiempo de retención hidráulico que tienen las aguas en las unidades de filtración.

- En el interior del lecho filtrante de los FLA Piloto se lleva a cabo un proceso anaerobio, si se toma las muestras justo en la tubería de salida del efluente de los FLA piloto sin permitir la interacción con el aire del medio ambiente el Oxígeno Disuelto (OD) mg/L es cero.
- De la evaluación microscópica del lecho filtrante se pudo obtener como bio-indicador la presencia de bacterias, protozoarios, rotíferos y algas. Los cuales contribuyeron y formaron parte de este ecosistema diverso para la degradación de la materia orgánica y coliformes termotolerantes. Esta capa biológica se fue notando a partir de la primera semana, llegado a su maduración y trabajo eficiente a partir de la segunda semana.
- La eficiencia de los FLA Piloto para la remoción de materia orgánica e inorgánica y coliformes termotolerantes está ligada a la tasa superficial y al tiempo de retención hidráulico, en esta investigación a medida que se fue disminuyendo la tasa superficial de cada unidad de filtración el tiempo de retención hidráulica fue aumentando y los FLA alcanzaron mayor eficiencia.
- Durante la segunda carrera de filtración el FLA N°2 y FLA N°3 operaron con lecho filtrante con coeficiente de uniformidad de 1.8 y 1.31 respectivamente, porosidad de la arena de 39,6% y 45.6% respectivamente y con la misma tasa superficial de $0.0157 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. El FLA N°2 tiene mayor eficiencia promedio que el FLA N°3 en SSV mg/L, DBO ml/L y coliformes termotolerantes de 8.75%, 5.75% y 0.46 log respectivamente.
- Durante la tercera carrera de filtración el FLA N°2 y FLA N°3 operaron con lecho filtrante con coeficiente de uniformidad de 1.8 y 1.31 respectivamente, porosidad de la arena de 39,6% y 45.6% respectivamente y con la misma tasa superficial de $0.0078 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. El FLA N°2 tiene mayor eficiencia promedio que el FLA N°3 en SSV mg/L, DBO ml/L y coliformes termotolerantes de 4.15%, 13.85% y 0.48 log respectivamente.

- Durante la cuarta carrera de filtración el FLA N°2 y FLA N°3 operaron con lecho filtrante con coeficiente de uniformidad de 1.8 y 1.31 respectivamente, porosidad de la arena de 39,6% y 45.6% respectivamente y con la misma tasa superficial de 0.005239 m³/m²*h. El FLA N°2 tiene mayor eficiencia promedio que el FLA N°3 en SSV mg/L, DBO ml/L y coliformes termotolerantes de 4.67%, 8.7% y 0.36 log respectivamente.

7. CAPITULO VII

CONCLUSIONES

- Con relación a la hipótesis de esta investigación, de que la filtración de arena, como sistema de tratamiento secundario de aguas residuales domésticas pretratadas es eficiente en la remoción de coliformes termotolerantes mayor a una unidad logarítmica (\log_{10}), en un rango de (1.01log a 4.57log), aumentó a medida que se fue disminuyendo la tasa superficial.
- Se observó que la eficiencia de los FLA piloto para la remoción de materia orgánica e inorgánica y coliformes termotolerantes, es inversamente proporcional a la tasa superficial y directamente proporcional al tiempo de retención hidráulico. En esta investigación se observó que, al disminuir la tasa superficial de la unidad de filtración, el tiempo de retención hidráulico aumenta y también aumenta su eficiencia.
- Los filtros lentos de arena (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), han demostrado tener una capacidad de remoción de los coliformes termotolerantes promedio de 3.73, 3.78 y 3.41 unidades logarítmicas, con tasas superficiales de 0.002619 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, 0.005239 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ y 0.005239 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, tiempos de retención hidráulico de 46.45h, 37.45h y 31.15 h respectivamente.
- Los filtros lentos de arena (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), han demostrado tener una capacidad de remoción de la turbiedad promedio de 99.1%, 96.6% y 96.85%, con tasas superficiales de 0.002619 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, 0.005239 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ y 0.005239 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, tiempos de retención hidráulico de 46.45h, 37.45h y 31.15 h respectivamente.
- Los filtros lentos de arena (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), han demostrado tener una capacidad de remoción de carga orgánica promedio de 89.2%, 92.3% y 83.6%, con tasas superficiales de

0.002619 m³/m².h, 0.005239 m³/m².h y 0.005239 m³/m².h, tiempos de retención hidráulico de 46.45h, 37.45h y 31.15 h respectivamente.

- Los filtros lentos de arena (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), han demostrado tener una capacidad de remoción de sólidos totales en suspensión promedio de 96.5%, 92.2% y 87.5%, con tasas superficiales de 0.002619 m³/m².h, 0.005239 m³/m².h y 0.005239 m³/m².h, tiempos de retención hidráulico de 46.45h, 37.45h y 31.15 h respectivamente.
- Se observó que el periodo de maduración de la capa biológica hasta alcanzar su eficiencia óptima en el tratamiento del agua residual doméstica pretratada, fue de 14 días.
- Se concluye que el FLA N°2 es el que registra valores más altos que el FLA N°3 en la calidad de su efluente tratado durante las cuatro carreras de filtración.
- Se concluye que el medio filtrante con tamaño efectivo de 0.76 mm fue el que mostró mejor eficiencia de remoción de los parámetros analizados.
- Los efluentes de los filtros lentos de arena (FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3), en la tercera y cuarta carrera de filtración cumplen con la normativa de los LMP para efluentes de PTAR para la temperatura (<35°C), pH (6.5-8.5), DBO (<100 mg/L), sólidos totales en suspensión (<150 mg/L) y coliformes termotolerantes (<10⁴ NMP/100mL).
- Para poder construir un sistema de filtros lentos de flujo continuo, con un caudal de diseño de 10 L/s, con tamaño efectivo de la arena de 0.76 mm, como sistema de tratamiento secundario y que las características del agua residual pretratada sean similares al de la PTAR – CITRAR, se requiere un área de 4600 m²

8. CAPITULO VIII RECOMENDACIONES

Dentro de cada tesis de investigación, siempre quedan sugerencias que pueden contribuir a la mejora del estudio en cuestión, de modo que pueda conocerse el comportamiento de más variables o fenómenos que no pudieron ser resueltos en esta tesis.

A continuación, se describen las sugerencias y recomendaciones más resaltantes:

- Para explicar de mejor manera el comportamiento de la capa biológica, se recomienda realizar los análisis fisicoquímicos y biológicos el mismo día y de la misma muestra, de ese modo se podrá establecer relaciones de los parámetros evaluados y la influencia que ejercen unos a otros.
- Se requiere mayor investigación referente a la remoción de otros microorganismos patógenos diferentes a los coliformes termotolerantes que no han sido muy evaluados, tales como huevos de helminto, estreptococos fecales, etc. Usando filtros lentos de arena.
- La cantidad de SST se podría reducir de gran manera con la construcción adecuada del presedimentador y hacer la evaluación del tiempo de retención necesario, para mejorar la eficiencia en disminuir los SST y la turbiedad.
- Se recomienda hacer la evaluación del filtro lento de arena para la remoción de nitrógeno y fósforo en sus diferentes formas.
- Se recomienda evaluar, aumentar el espesor del medio filtrante, disminuir la altura de la salida del efluente del FLA con respecto a la capa superior del medio filtrante y como ya se mencionó construir un presedimentador adecuado.
- Mantener cubierto con malla mosquitera los FLA para evitar que los sancudos pongan su huevo.

- Realizar investigaciones de los FLA en serie, primero un filtro de lecho grueso y luego un filtro de lecho más delgado, ambos con flujo continuo y la misma tasa superficial.
- En el diseño del FLA se debe asegurar que la tubería de salida del efluente debe estar por encima del medio filtrante.
- Los FLA deben ubicarse al aire libre para aprovechar los rayos solares.
- Se debe coordinar el uso de los equipos del laboratorio con los tesisistas, brigadistas y el personal responsable de los laboratorios.
- La calibración de las válvulas de control de los caudales del afluente y efluente se debe realizar a diario durante el desarrollo de la investigación.
- La selección de la arena en lo posible debe ser arena de río porque tiene mayor dureza y es circular.
- Para la construcción del FLA se debe usar un cilindro de mayor altitud para tener mayor espesor del lecho filtrante, de ese modo al realizar el raspado se retirará la parte superficial y no será necesario retirar todo el lecho filtrante.
- Para evitar interferencias o incomodidades al llenar el tanque de almacenamiento con agua residual pretratada es recomendable usar una bomba y manguera de impulsión independiente (solo para la investigación en curso).

9. CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar y Portela. (2009). Diseño y montaje del laboratorio de filtro de arena para agua potable, Colombia. Recuperado de https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/569/TIC_AguiarHernandezDanielFernando_09.pdf?sequence=1&isAllowed=y 20/06/2019
- Aguirre, O. (2012). Valoración de unidades de filtración lenta de arena como alternativa para la remoción de contaminación bacteriológica en aguas residuales de efluentes secundarios anaerobios. Universidad tecnológica de Pereira, Colombia.
- AWWA Research Foundation. Manual of design for slow sand filtration. USA, 1991.
- Barzola, C. (2010). Estudio del uso de filtración Lenta en la remoción de coliformes termotolerantes del efluente del sistema de humedales artificiales – planta UNITRAR. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Bustamante y Saavedra, (2014). Tratamiento de aguas residuales por medio de filtros de arena para la remoción de coliformes termotolerantes. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- CEPIS/OPS. Programa Regional HEP/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Serie: Filtración Lenta. Manual II – Diseño, junio 1992.

Estrada, (2016), Aplicación de geotextiles en filtración lenta como parte del tratamiento terciario en la PTAR “ing. Arturo Pozos” colonia Aurora II, zona 13 de la ciudad de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Huisman, L., Wood, W. (2009), “Slow Sand Filtration: World Health Organization, Switzerland”, Geneva.

Kelly A. Reynolds (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica identificación del problema, EE.UU. Recuperado de http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/documentos_nuevos/DeLaLaveSepOct02.pdf 20/06/2019

Lidia V. (2002), “Plantas de tratamiento de filtros lentos de arena”, del blog de asesoría: <http://www.bvsde.ops oms.org>

Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering. Treatment and Reuse. (4th ed). New York McGraw-Hill, Inc.

Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA-AWWA-WPCF. Editorial Díaz Santos, S.A, 1992 España.

Moncada, (2017). Eficiencia del filtro lento de arena en la remoción de la carga orgánica en efluentes del mercado de flores, Barranco. Universidad Cesar Vallejo, Lima.

Procedimiento NMP para la determinación de coliformes fecales en aguas por método A-1. PRT-712.02-006 v 5 Coliformes Fecales Método A-1. Chile, mayo 1992.

Ramírez, M. (2009). Filtración lenta con arena para el tratamiento de agua en comunidades rurales, Cuba. Recuperado de http://www.ciget.pinar.cu/Revista/No.2011-1/Art%EDculos/Filtros_lentos_arena.pdf 20/06/2019

Solsana, F. (2003). Filtración dinámica, Lima. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/filtracion.pdf> 20/06/2019

Torres P. y Villanueva P. (2014). “El filtro de arena lento: manual para el armado, instalación y monitoreo” 1ª edición. Colombia: Ediciones departamento de publicaciones y comunicación gráfica de la UPC, 2014. ISBN 9789588537795

Zuluaga, Sánchez, Darío, Aponte, (2009). Evaluación de la filtración lenta en arena como tratamiento terciario de agua residual doméstica con fines de reúso agropecuario y piscícola, Colombia. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2311/231116390005.pdf> 20/06/2019

10. CAPITULO X
ANEXOS

10.1 ANEXO 1: MARCO LEGAL

Tabla 6 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.

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

Fuente: DS 013-2010 - MINAM

10.2 ANEXO 2: TABLA DE COLIFORMES

Tabla 7 Numero más probable (NMP) de coliformes por cada 100 ml de muestra

Table E-1
Most probable number (MPN) of coliforms per 100 mL of sample

Number of positive tubes				Number of positive tubes				Number of positive tubes			
10 mL	1 mL	0.1 mL	MPN	10 mL	1 mL	0.1 mL	MPN	10 mL	1 mL	0.1 mL	MPN
0	0	0		1	0	0	2.0	2	0	0	4.5
0	0	1	1.8	1	0	1	4.0	2	0	1	6.8
0	0	2	1.6	1	0	2	6.0	2	0	2	9.1
0	0	3	5.4	1	0	3	8.0	2	0	3	12
0	0	4	7.2	1	0	4	10	2	0	4	14
0	0	5	9.0	1	0	5	12	2	0	5	16
0	1	0	1.8	1	1	0	4.0	2	1	0	6.8
0	1	1	3.6	1	1	1	6.1	2	1	1	9.2
0	1	2	5.5	1	1	2	8.1	2	1	2	12
0	1	3	7.3	1	1	3	10	2	1	3	14
0	1	4	9.1	1	1	4	12	2	1	4	17
0	1	5	11	1	1	5	14	2	1	5	19
0	2	0	3.7	1	2	0	6.1	2	2	0	9.3
0	2	1	5.5	1	2	1	8.2	2	2	1	12
0	2	2	7.4	1	2	2	10	2	2	2	14
0	2	3	9.2	1	2	3	12	2	2	3	17
0	2	4	11	1	2	4	15	2	2	4	19
0	2	5	13	1	2	5	17	2	2	5	22
0	3	0	5.6	1	3	0	8.3	2	3	0	12
0	3	1	7.4	1	3	1	10	2	3	1	14
0	3	2	9.3	1	3	2	13	2	3	2	17
0	3	3	11	1	3	3	15	2	3	3	20
0	3	4	13	1	3	4	17	2	3	4	22
0	3	5	15	1	3	5	19	2	3	5	25
0	4	0	7.5	1	4	0	11	2	4	0	15
0	4	1	9.4	1	4	1	13	2	4	1	17
0	4	2	11	1	4	2	15	2	4	2	20
0	4	3	13	1	4	3	17	2	4	3	23
0	4	4	15	1	4	4	19	2	4	4	25
0	4	5	17	1	4	5	22	2	4	5	28
0	5	0	9.4	1	5	0	13	2	5	0	17
0	5	1	11	1	5	1	15	2	5	1	20
0	5	2	13	1	5	2	17	2	5	2	23
0	5	3	15	1	5	3	19	2	5	3	26
0	5	4	17	1	5	4	22	2	5	4	29
0	5	5	19	1	5	5	24	2	5	5	32

Number of positive tubes				Number of positive tubes				Number of positive tubes			
10 ml	1 ml	0.1 ml	MPN	10 ml	1 ml	0.1 ml	MPN	10 ml	1 ml	0.1 ml	MPN
3	0	0	7.8	4	0	0	13	5	0	0	23
3	0	1	11	4	0	1	17	5	0	1	31
3	0	2	13	4	0	2	21	5	0	2	43
3	0	3	16	4	0	3	25	5	0	3	58
3	0	4	20	4	0	4	30	5	0	4	76
3	0	5	23	4	0	5	36	5	0	5	95
3	1	0	11	4	1	0	17	5	1	0	33
3	1	1	14	4	1	1	21	5	1	1	46
3	1	2	17	4	1	2	26	5	1	2	64
3	1	3	20	4	1	3	31	5	1	3	84
3	1	4	23	4	1	4	36	5	1	4	110
3	1	5	27	4	1	5	42	5	1	5	130
3	2	0	14	4	2	0	22	5	2	0	49
3	2	1	17	4	2	1	26	5	2	1	70
3	2	2	20	4	2	2	32	5	2	2	95
3	2	3	24	4	2	3	38	5	2	3	120
3	2	4	27	4	2	4	44	5	2	4	150
3	2	5	31	4	2	5	50	5	2	5	180
3	3	0	17	4	3	0	27	5	3	0	79
3	3	1	21	4	3	1	33	5	3	1	110
3	3	2	24	4	3	2	39	5	3	2	140
3	3	3	28	4	3	3	45	5	3	3	180
3	3	4	31	4	3	4	52	5	3	4	210
3	3	5	35	4	3	5	59	5	3	5	250
3	4	0	21	4	4	0	34	5	4	0	130
3	4	1	24	4	4	1	40	5	4	1	170
3	4	2	28	4	4	2	47	5	4	2	220
3	4	3	32	4	4	3	54	5	4	3	280
3	4	4	36	4	4	4	62	5	4	4	350
3	4	5	40	4	4	5	69	5	4	5	430
3	5	0	25	4	5	0	41	5	5	0	240
3	5	1	29	4	5	1	48	5	5	1	350
3	5	2	32	4	5	2	56	5	5	2	540
3	5	3	37	4	5	3	64	5	5	3	920
3	5	4	41	4	5	4	72	5	5	4	1600
3	5	5	45	4	5	5	81				

Fuente: Metcalf & Eddy (2003)

10.3 ANEXO 3: RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LAS CUATRO CARRERAS DE FILTRACIÓN

7.3.1 RESULTADOS DE LA TEMPERATURA DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS PUNTOS DE MUESTREO

10.3.1.1. Resultados de la temperatura del medio ambiente y los puntos de muestreo, durante la primera carrera de filtración.

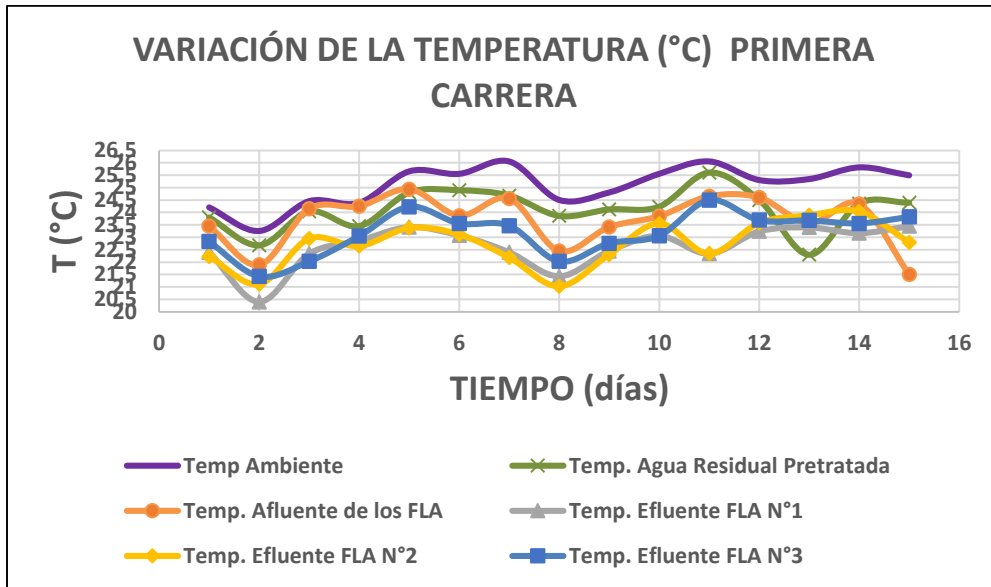


Gráfico N° 17 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración

10.3.1.2. Resultados de la temperatura del medio ambiente y los puntos de muestreo durante la segunda carrera de filtración.

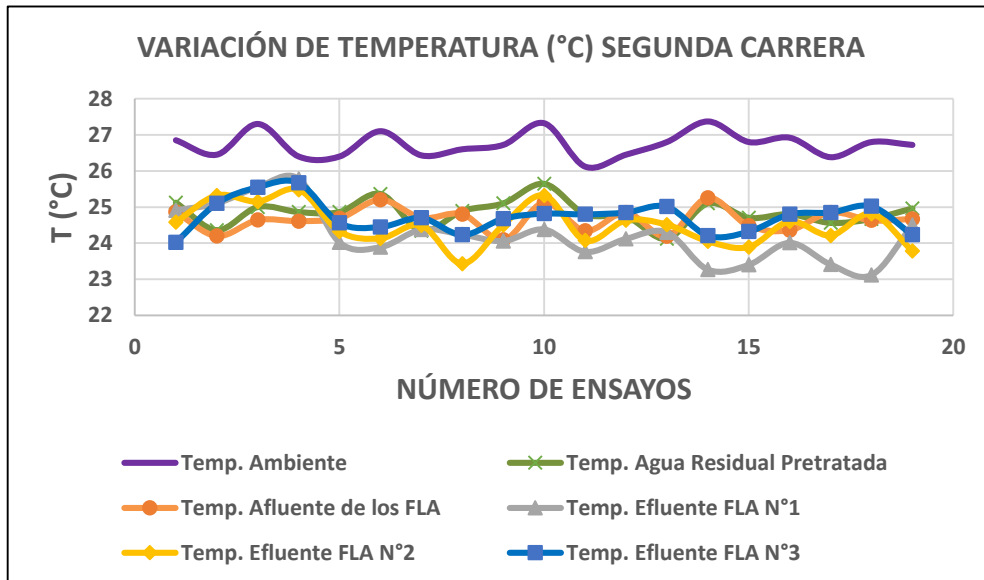


Gráfico N° 18 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.

10.3.1.3. Resultado de la temperatura del medio ambiente y los puntos de muestreo durante la tercera carrera de filtración.

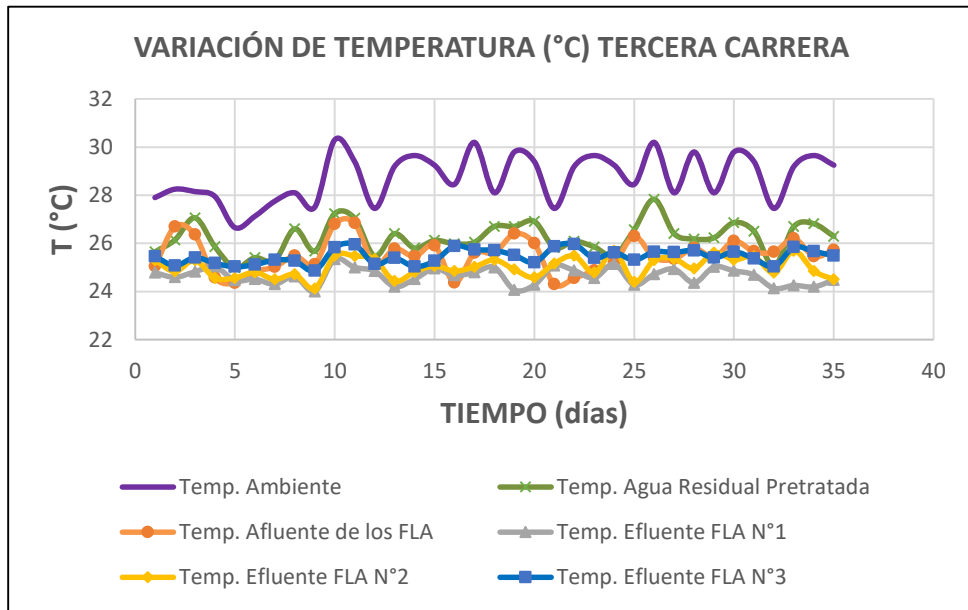


Gráfico N° 19 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.

10.3.1.4. Resultados de la temperatura del medio ambiente y los puntos de muestreo durante la cuarta carrera de filtración.

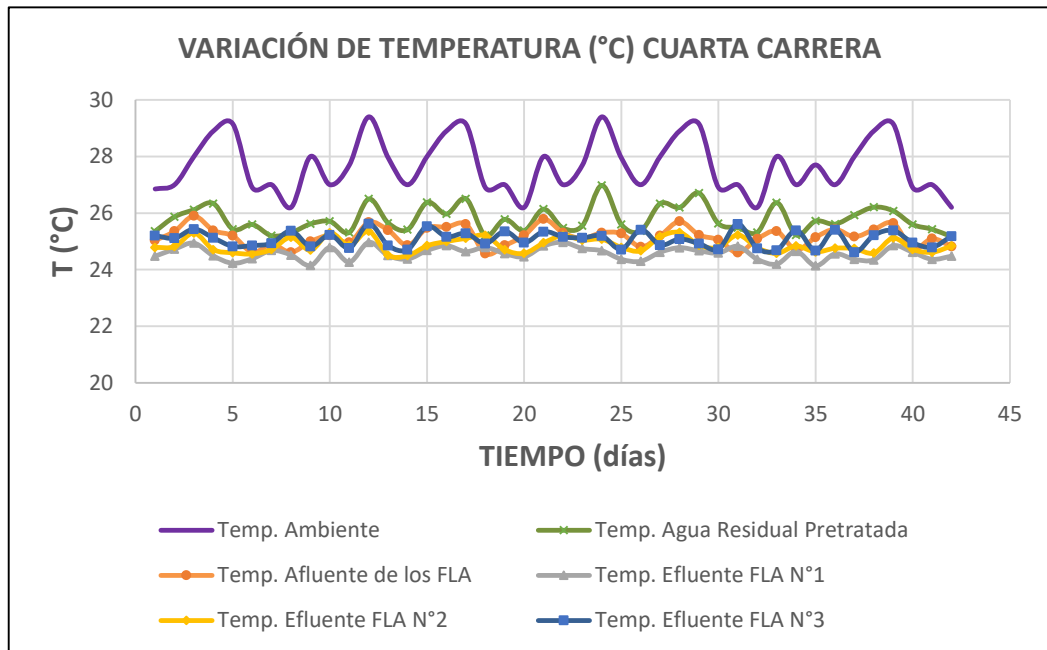


Gráfico N° 20 Variación de la temperatura del medio ambiente y los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.

7.3.2 RESULTADOS DEL PH DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

7.3.2.1 Resultados del pH en puntos de muestreo durante la primera carrera de filtración.

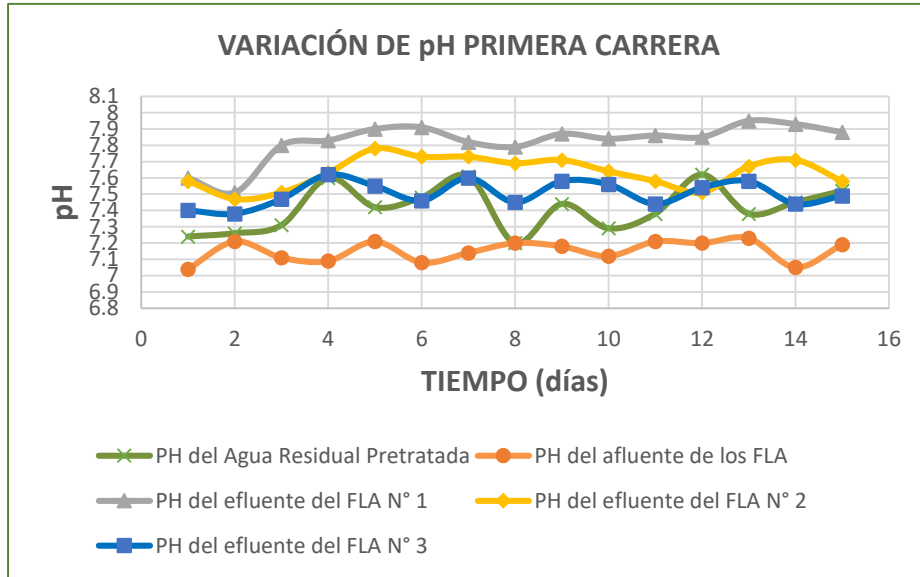


Gráfico N° 21 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración

7.3.2.2 Resultados del pH en los puntos de muestreo durante la segunda carrera de filtración.

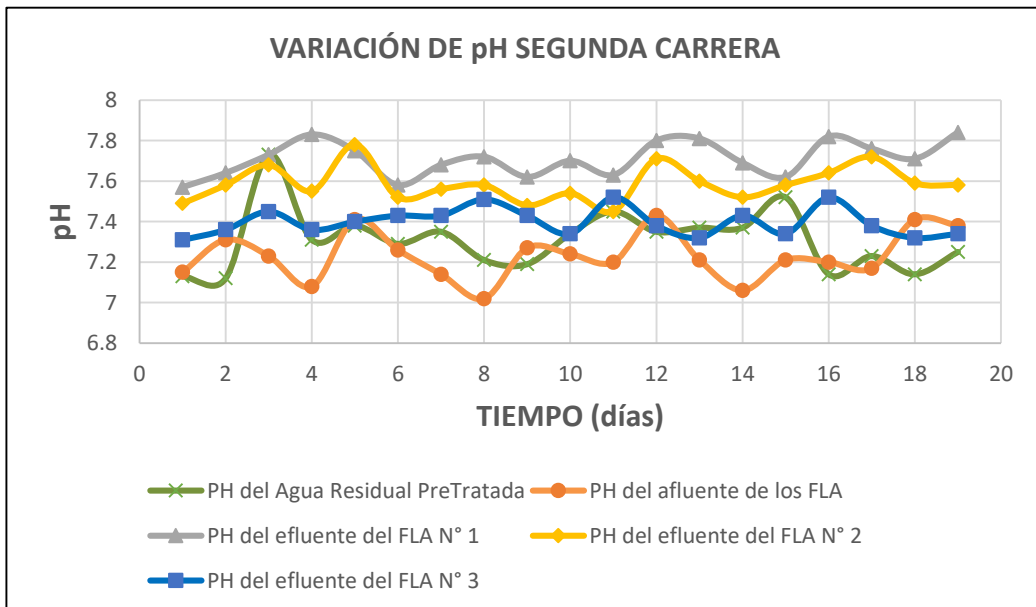


Gráfico N° 22 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración

7.3.2.3 Resultados del pH en los puntos de muestreo durante la tercera carrera de filtración.

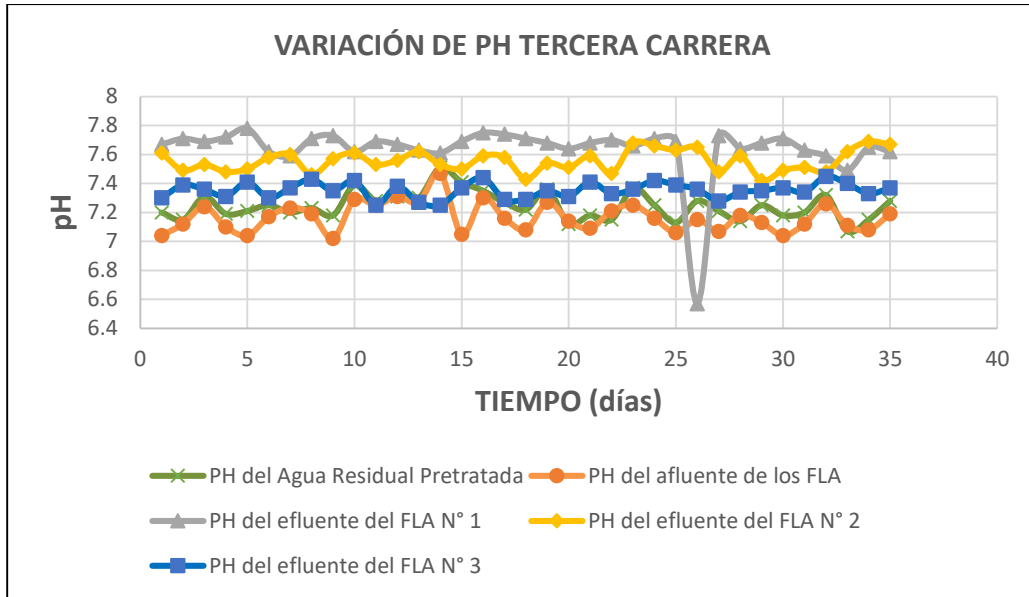


Gráfico N° 23 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración

7.3.2.4 Resultados del pH en los puntos de muestreo durante la cuarta carrera de filtración.

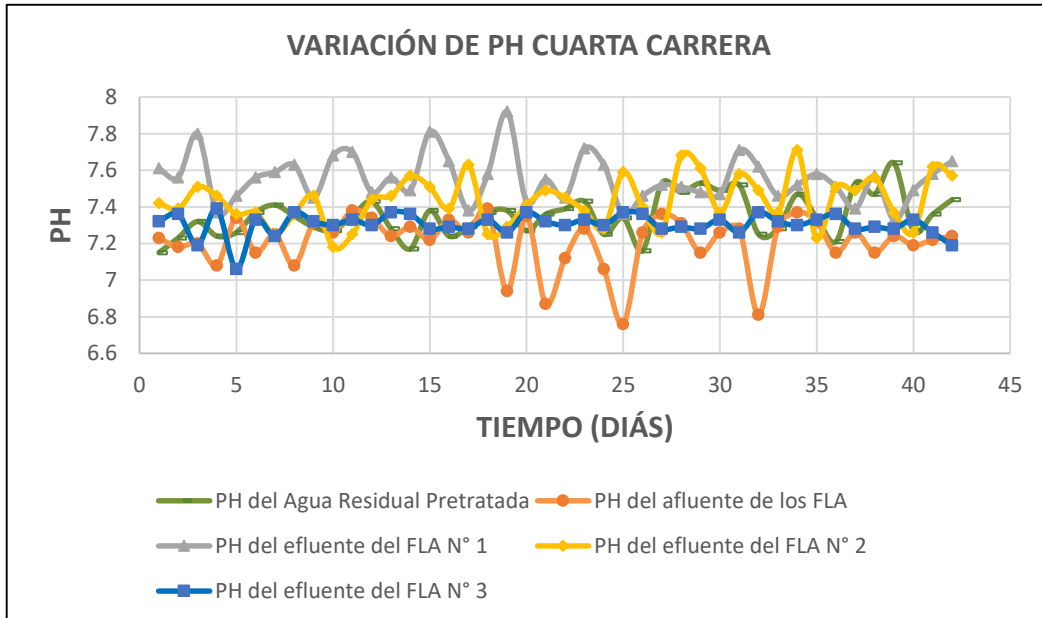


Gráfico N° 24 Variación del pH en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración

7.3.3 RESULTADOS DEL OXÍGENO DISUELTO EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

10.3.3.1. Resultados del OD en los puntos de muestreo durante la primera carrera.

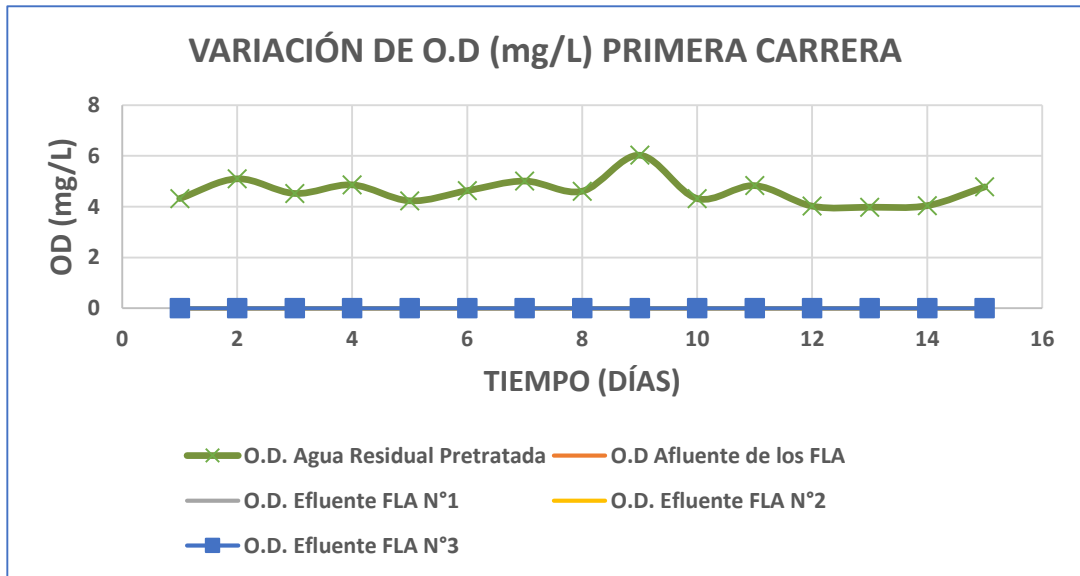


Gráfico N° 25 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración.

10.3.3.2. Resultados del OD en los puntos de muestreo de durante la segunda carrera de filtración.

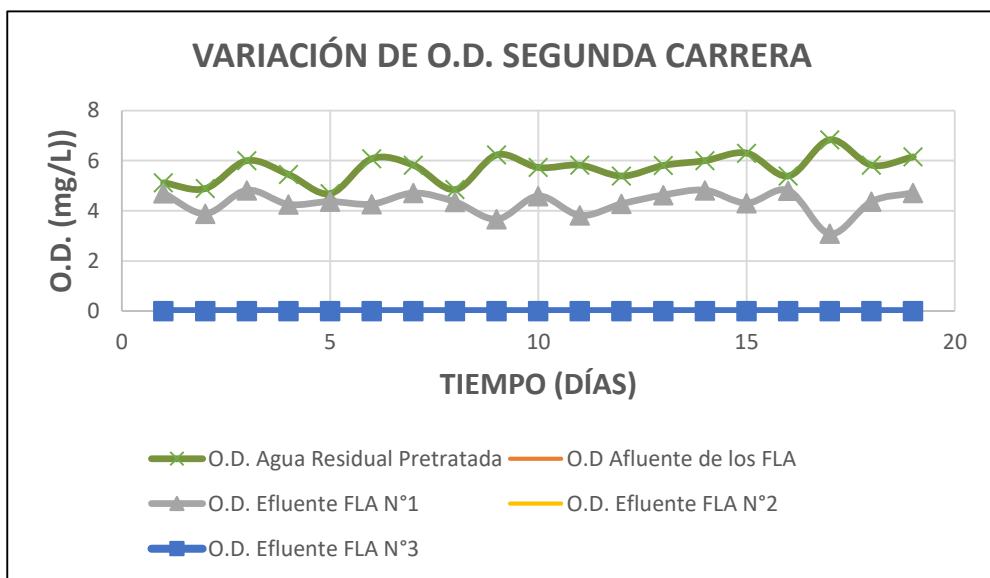


Gráfico N° 26 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.

10.3.3.3. Resultados del OD en los puntos de muestreo durante la tercera carrera de filtración.

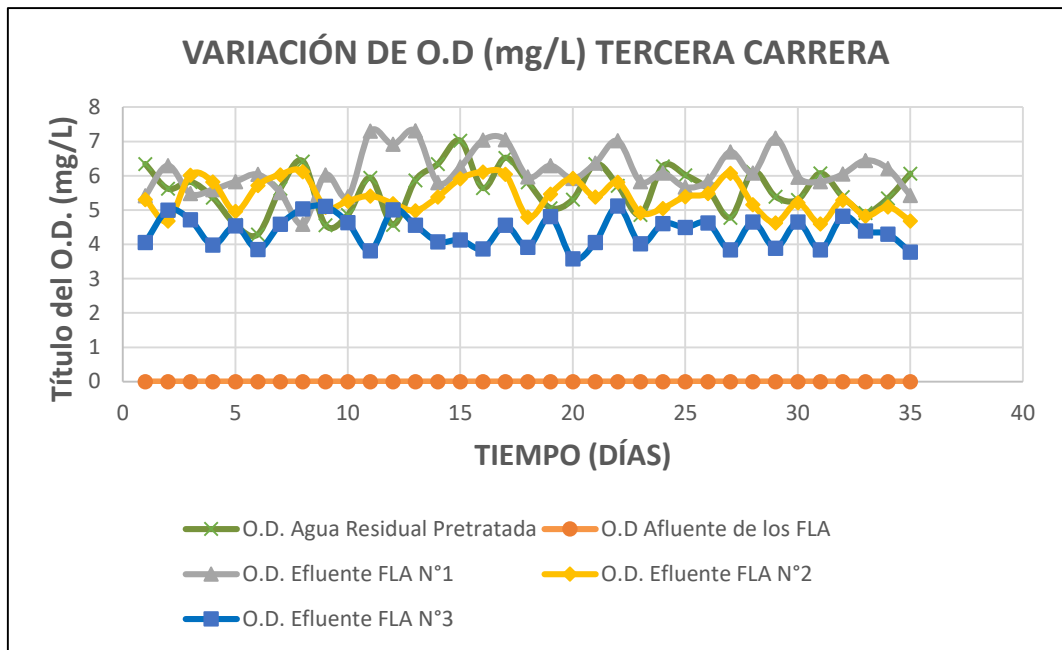


Gráfico N° 27 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.

10.3.3.4. Resultados del OD en los puntos de muestreo durante la cuarta carrera de filtración.

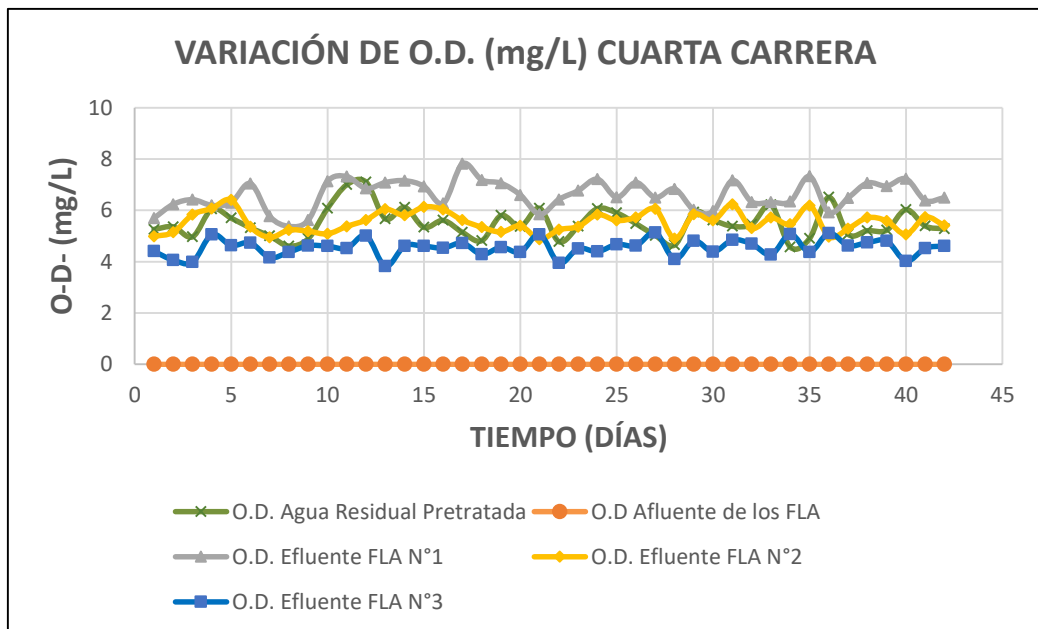


Gráfico N° 28 Variación del OD en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.

7.3.4 RESULTADOS DE LA TURBIEDAD EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

10.3.4.1. Resultados de la turbiedad en los puntos de muestreo durante la primera carrera de filtración.

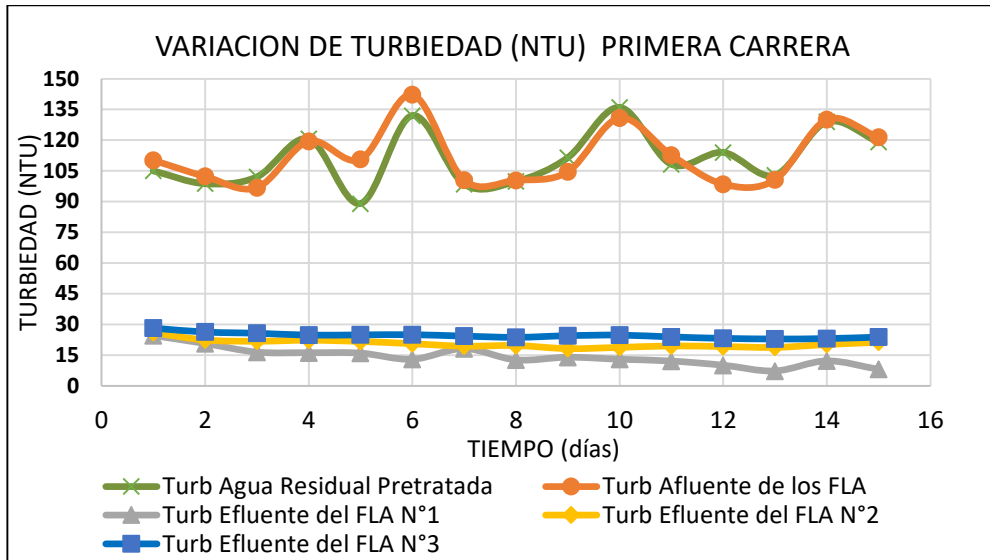


Gráfico N° 29 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la primera carrera de filtración

10.3.4.2. Resultados de la turbiedad en los puntos de muestreo durante la segunda carrera de filtración.

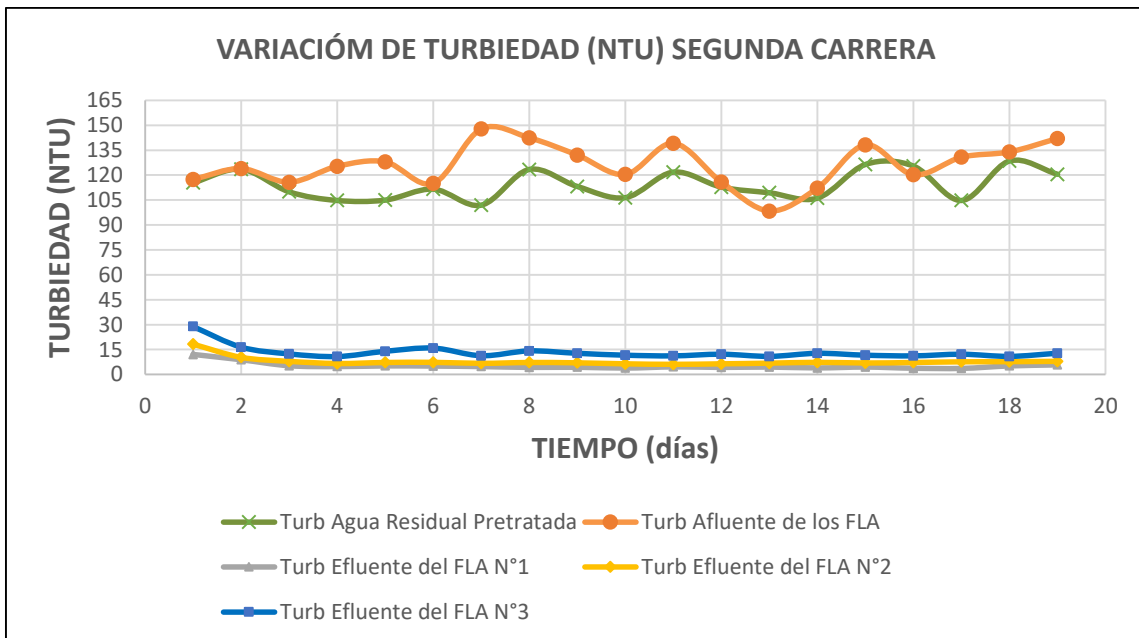


Gráfico N° 30 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.

10.3.4.3. Resultados de la turbiedad en los puntos de muestreo durante la tercera carrera de filtración.

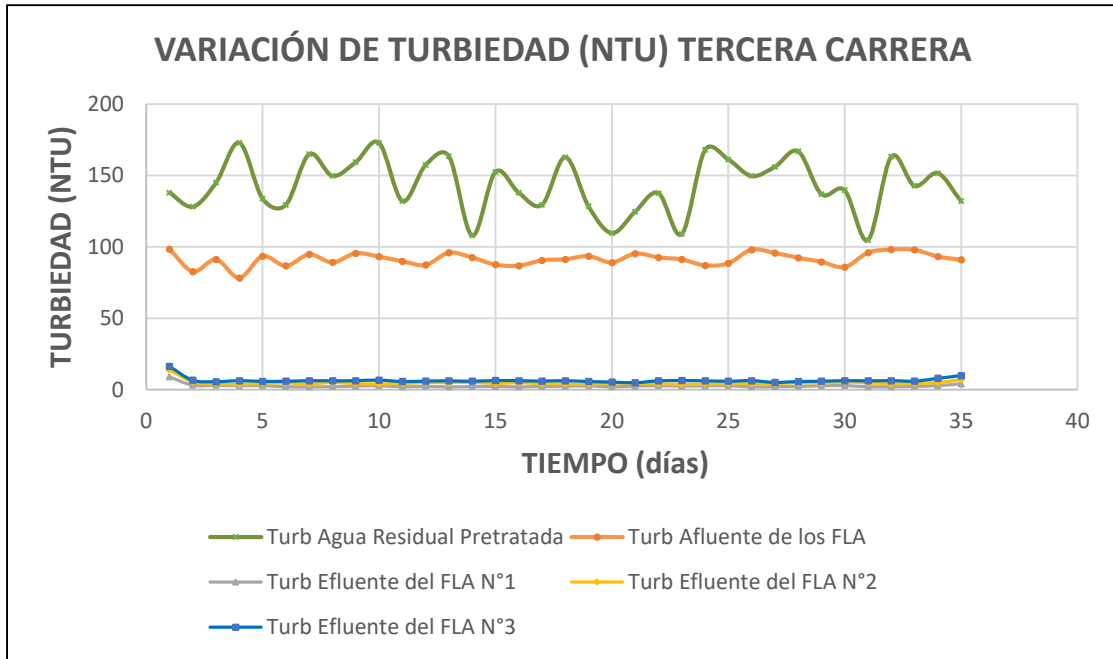


Gráfico N° 31 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.

10.3.4.4. Resultados de la turbiedad en los puntos de muestreo durante la cuarta carrera de filtración.

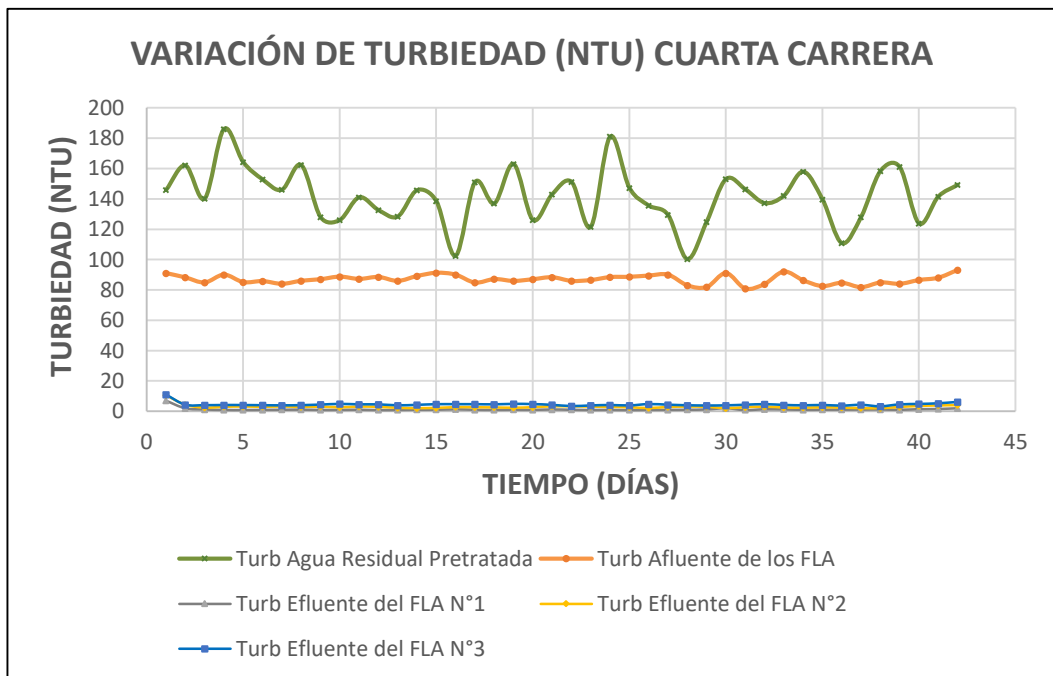


Gráfico N° 32 Variación de la turbiedad en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.

10.3.5.RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

10.3.5.1 Resultados de la eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto, durante la primera carrera de filtración.

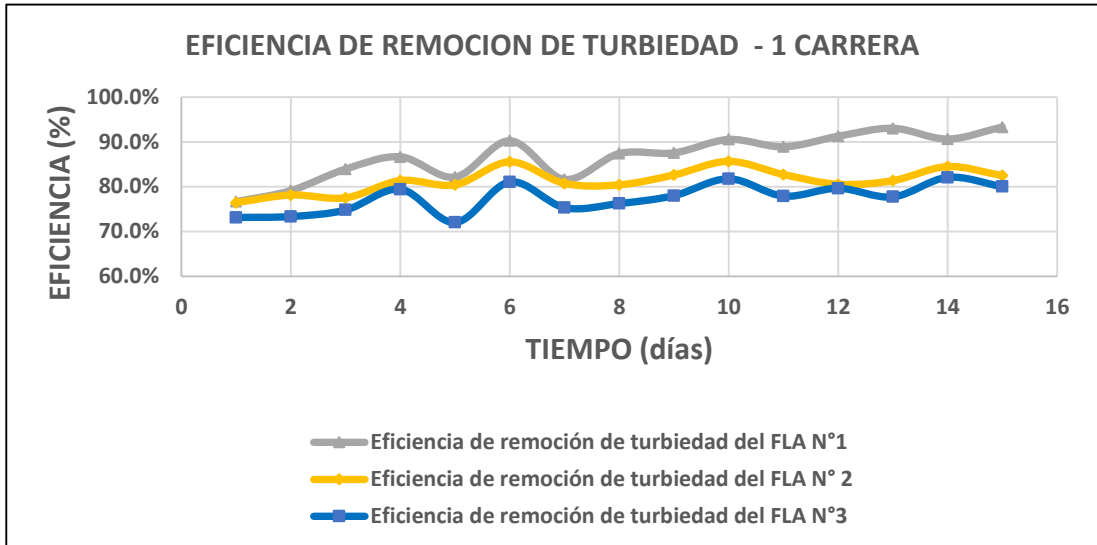


Gráfico N° 33 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la primera carrera de filtración.

10.3.5.2. Resultados de la eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto, durante la segunda carrera de filtración.

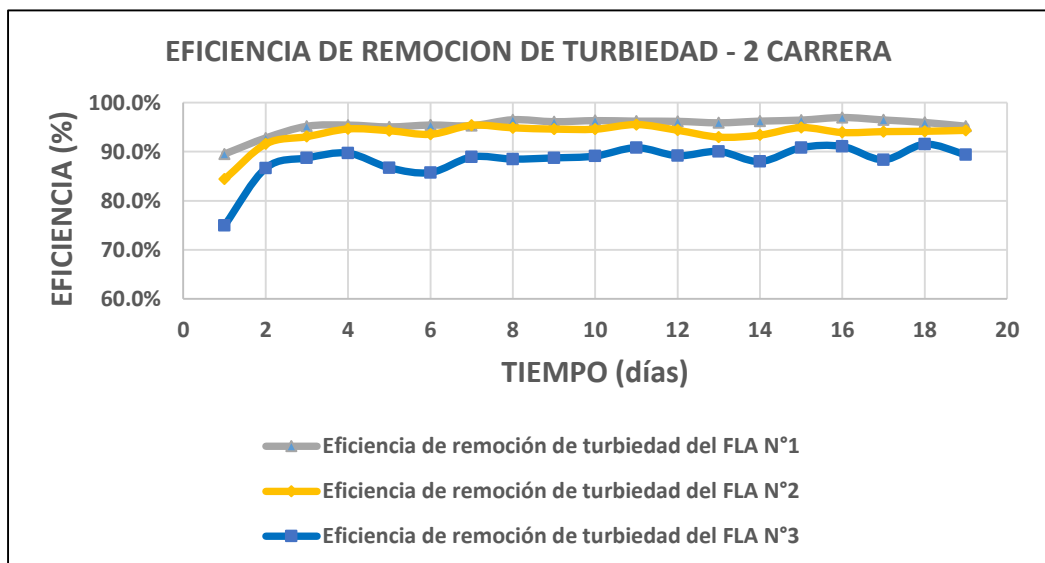


Gráfico N° 34 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la segunda carrera de filtración.

10.3.5.3. Resultados de la eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto, durante la tercera carrera de filtración.

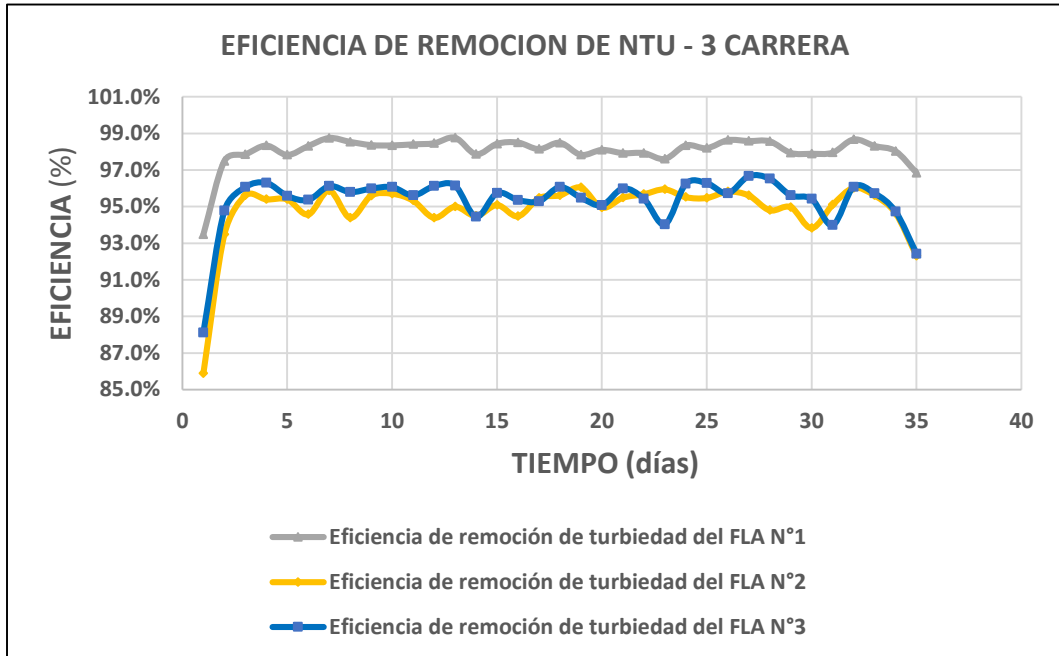


Gráfico N° 35 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la tercera carrera de filtración.

10.3.5.4. Resultados de la eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto, durante la cuarta carrera de filtración.

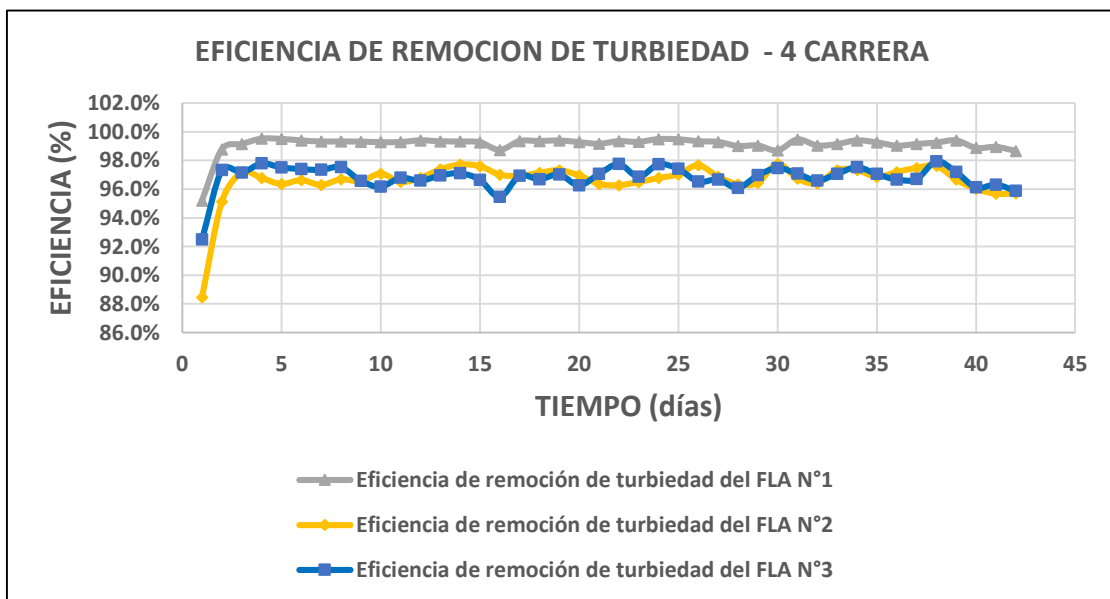


Gráfico N° 36 Eficiencia de remoción de la turbiedad de los tres FLA piloto durante la cuarta carrera de filtración

10.3.6 RESULTADOS DE LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

10.3.6.1. Resultados de los SST en los puntos de muestreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

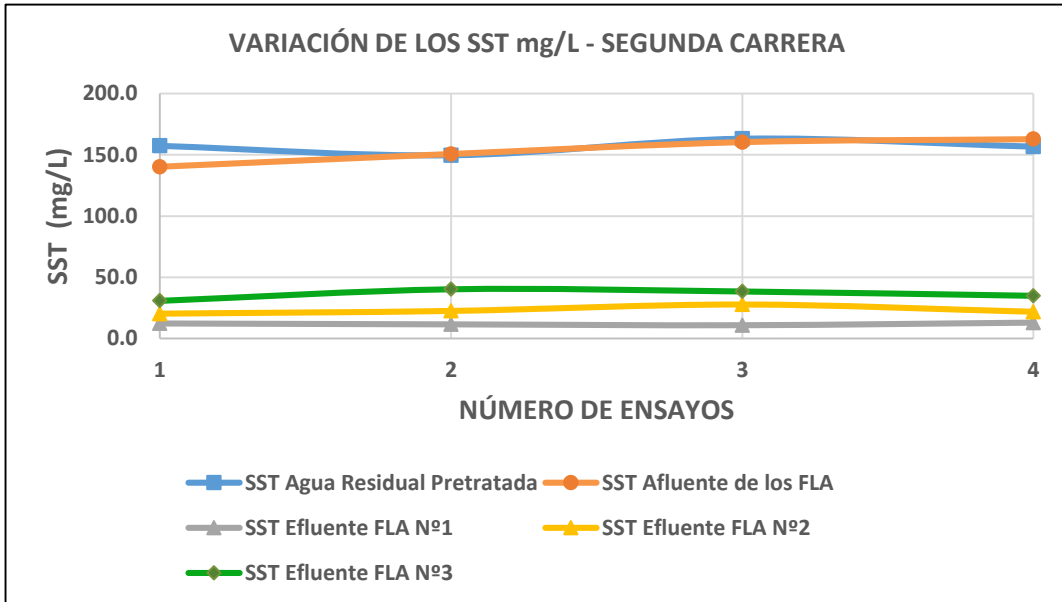


Gráfico N° 37 Variación de los SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.

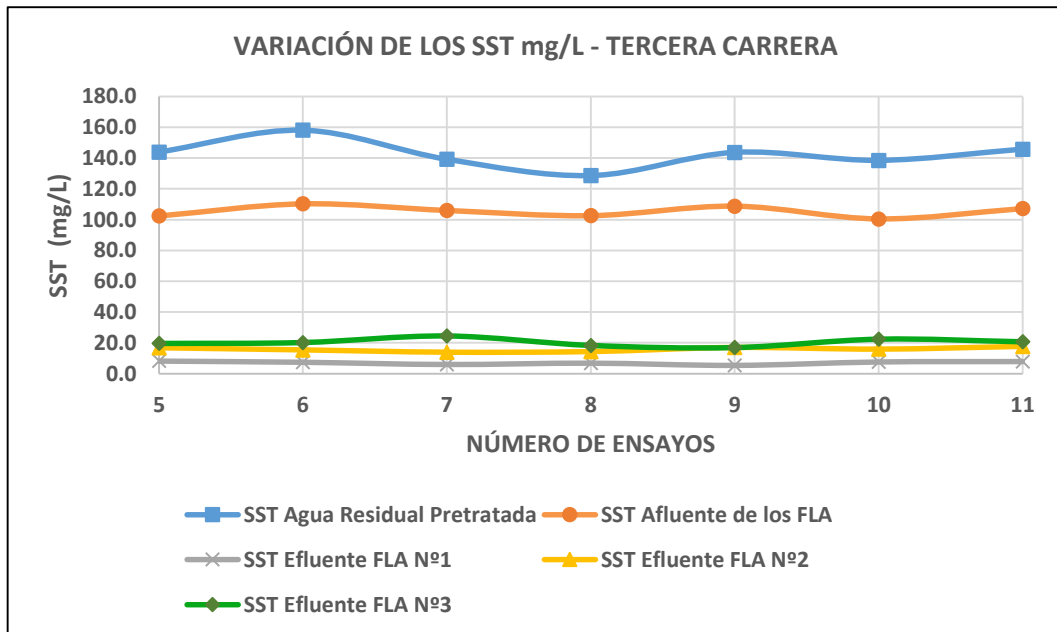


Gráfico N° 38 Variación de los SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.

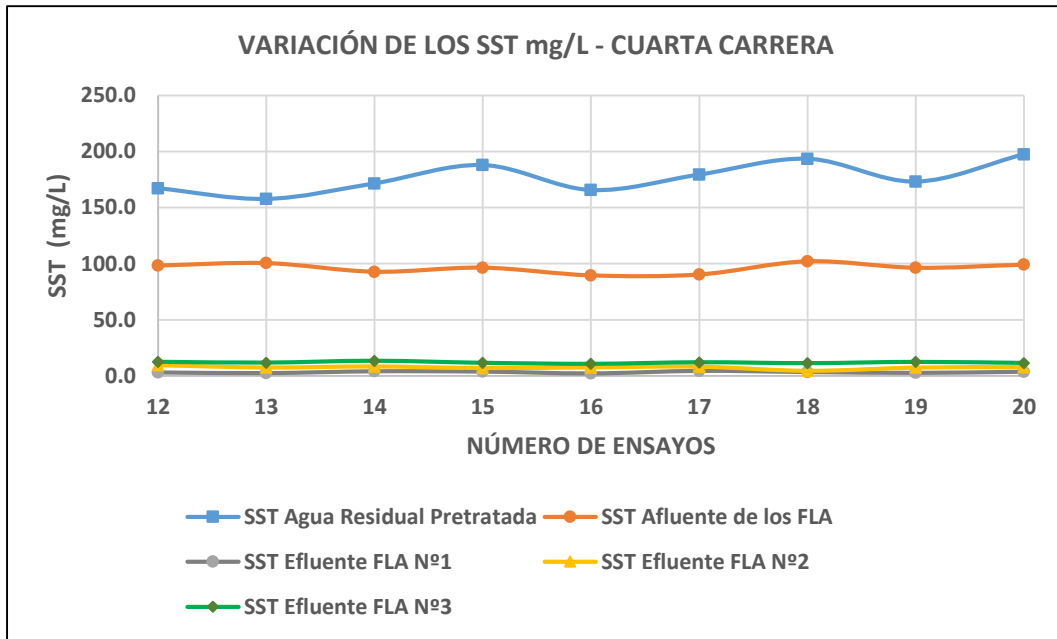


Gráfico N° 39 Variación de loa SST mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.

10.3.6.2. Resultados de la eficiencia de remoción de los SST mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

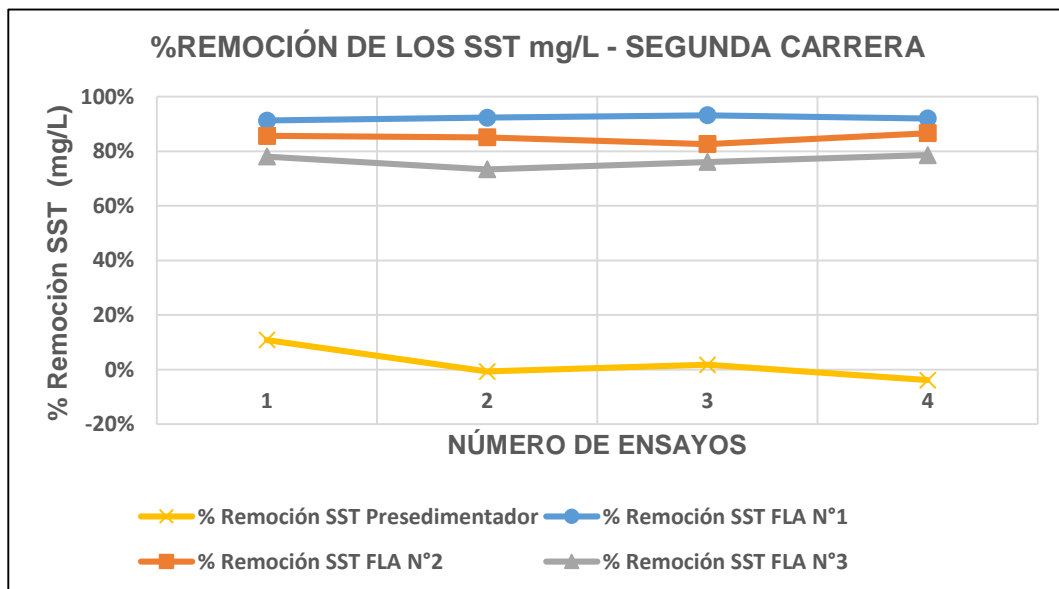


Gráfico N° 40 Variación del porcentaje de remoción de los SST mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda carrera de filtración.

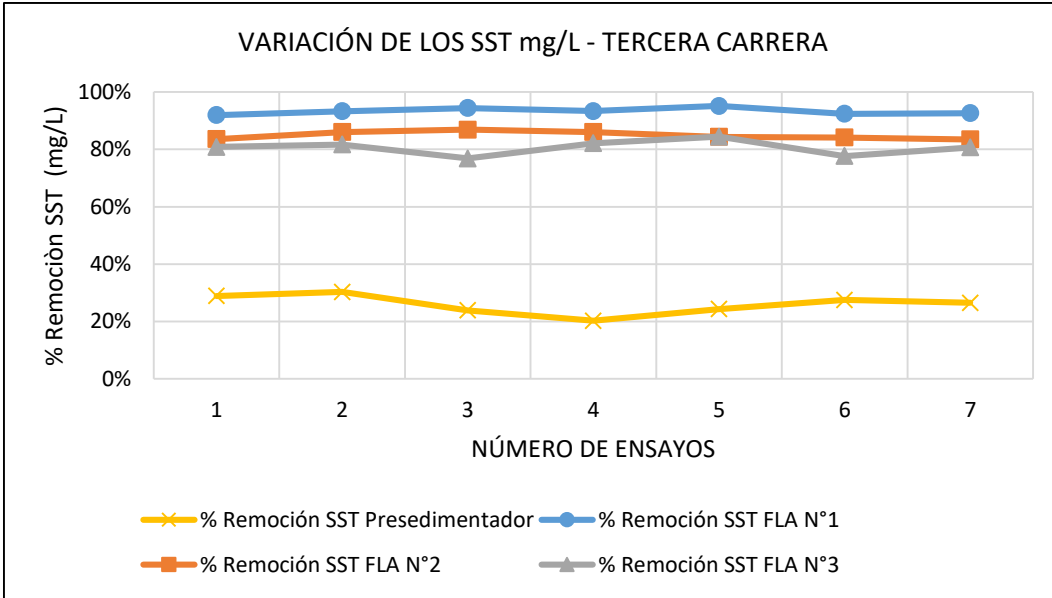


Gráfico N° 41 Variación del porcentaje de remoción de los SST mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la tercera carrera de filtración.

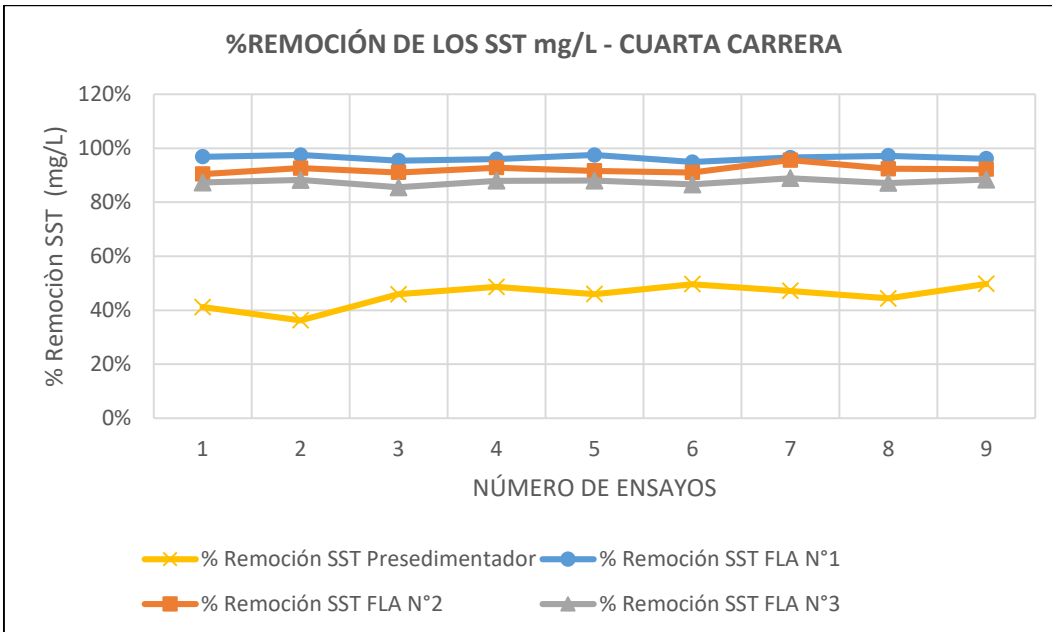


Gráfico N° 42 Variación del porcentaje de remoción de los SST mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración.

10.3.7 RESULTADOS DE LA DBO5 MG/L EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

10.3.7.1. Resultados de la DBO5 mg/L en los puntos de muestreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

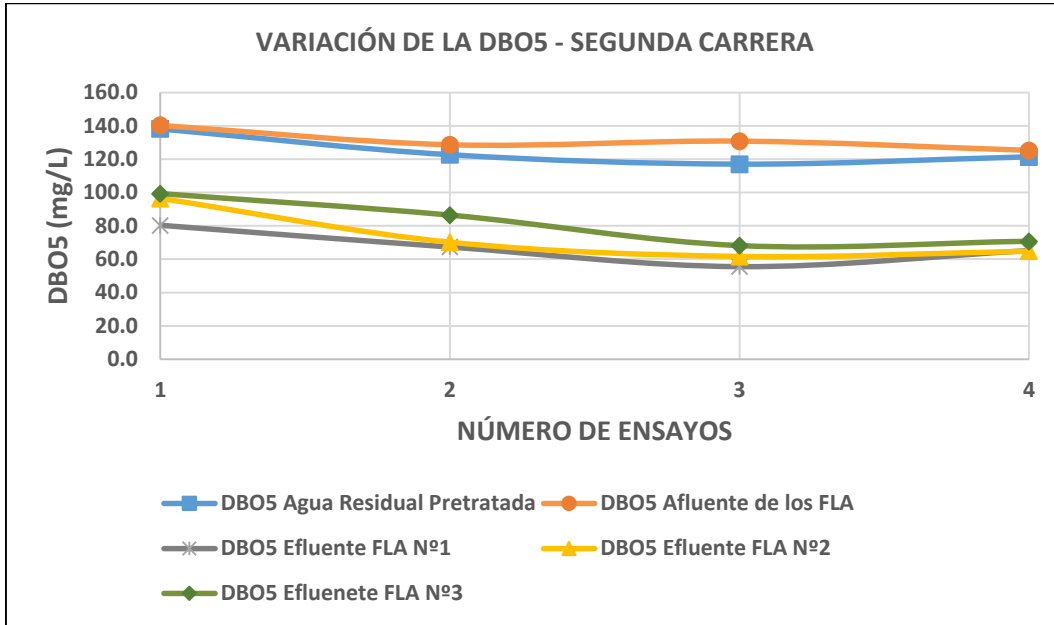


Gráfico N° 43 Variación de la DBO5 mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la segunda carrera de filtración.

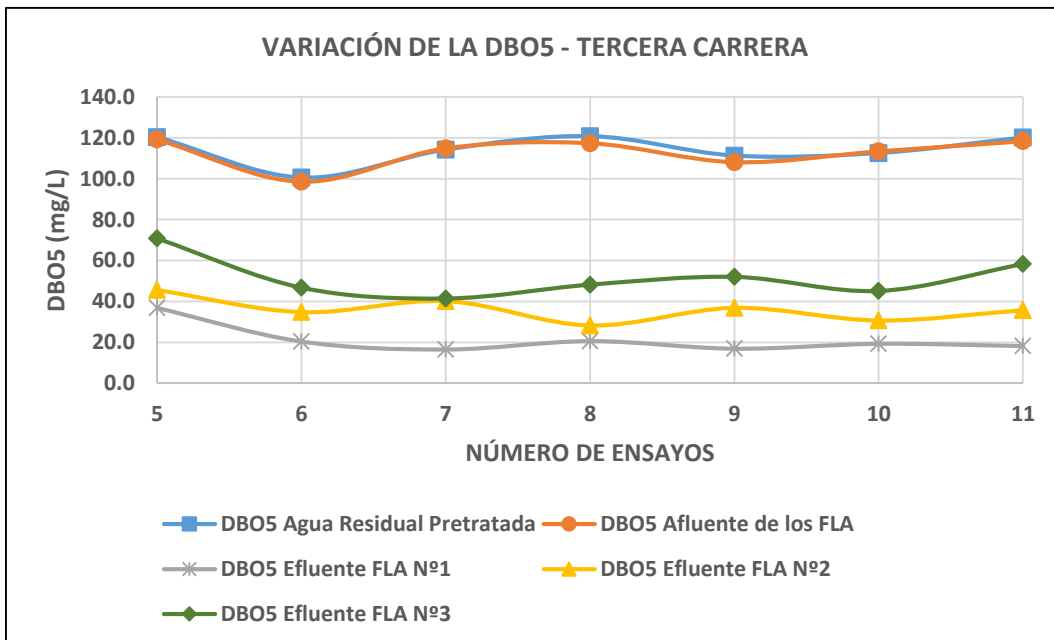


Gráfico N° 44 Variación de la DBO5 mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la tercera carrera de filtración.

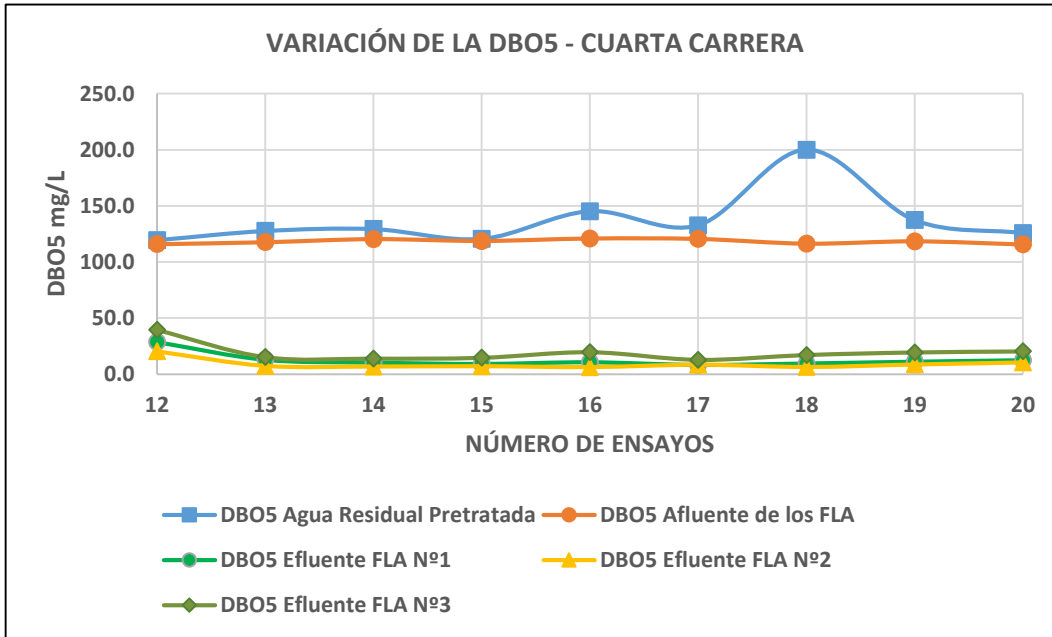


Gráfico N° 45 Variación de la DBO5 mg/L en los 5 puntos de monitoreo durante la cuarta carrera de filtración.

10.3.8 RESULTADOS DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO5 MG/L DEL PRESEDIMENTADOR, FLA N°1, FLA N°2 Y FLA N°3 DURANTE LA SEGUNDA, TERCERA Y CUARTA CARRERA DE FILTRACIÓN.

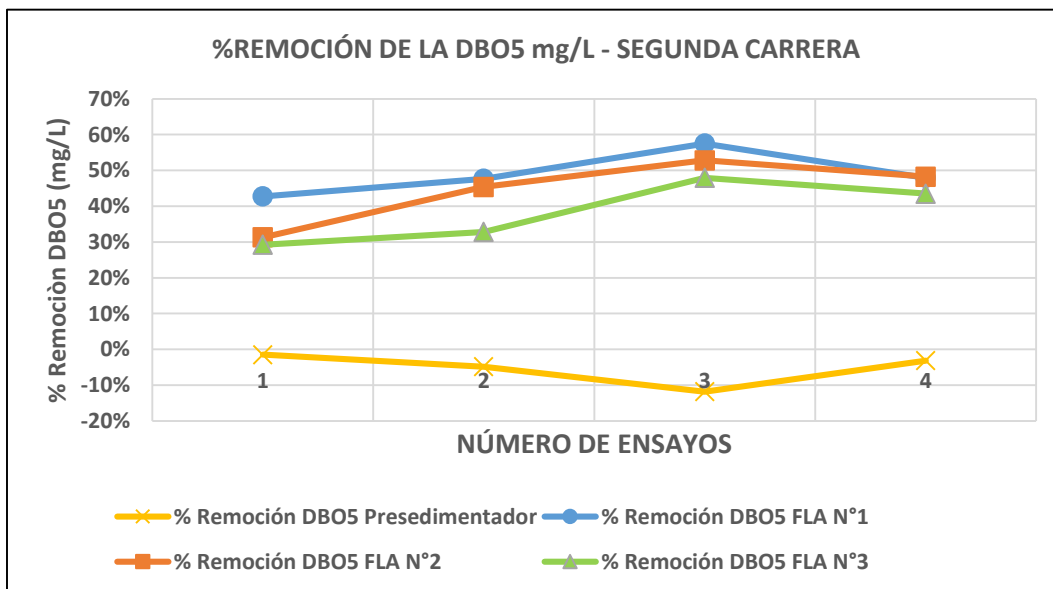


Gráfico N° 46 Variación del porcentaje de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la segunda carrera de filtración.

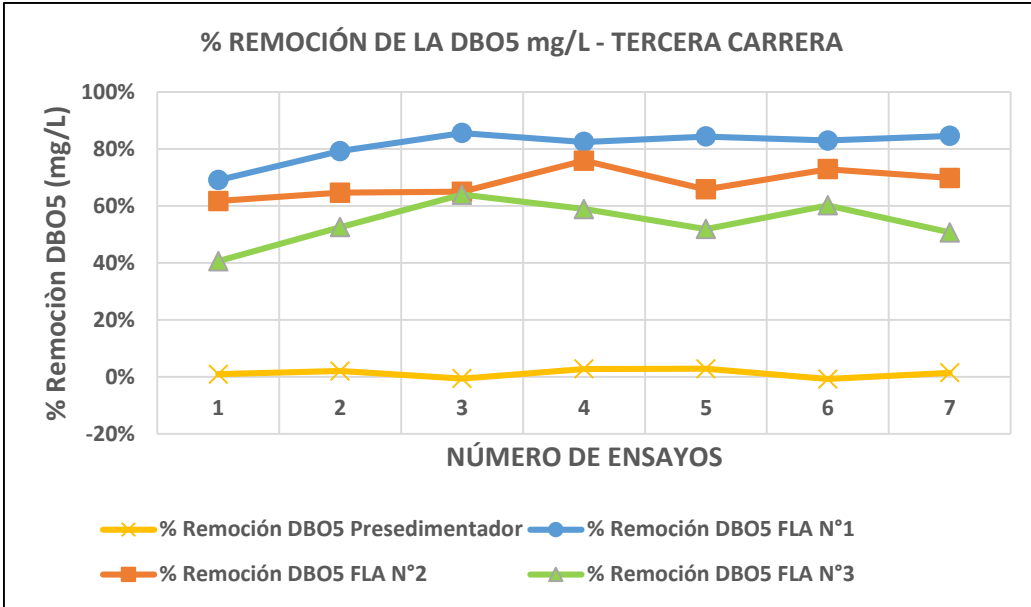


Gráfico N° 47 Variación del porcentaje de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la tercera carrera de filtración.

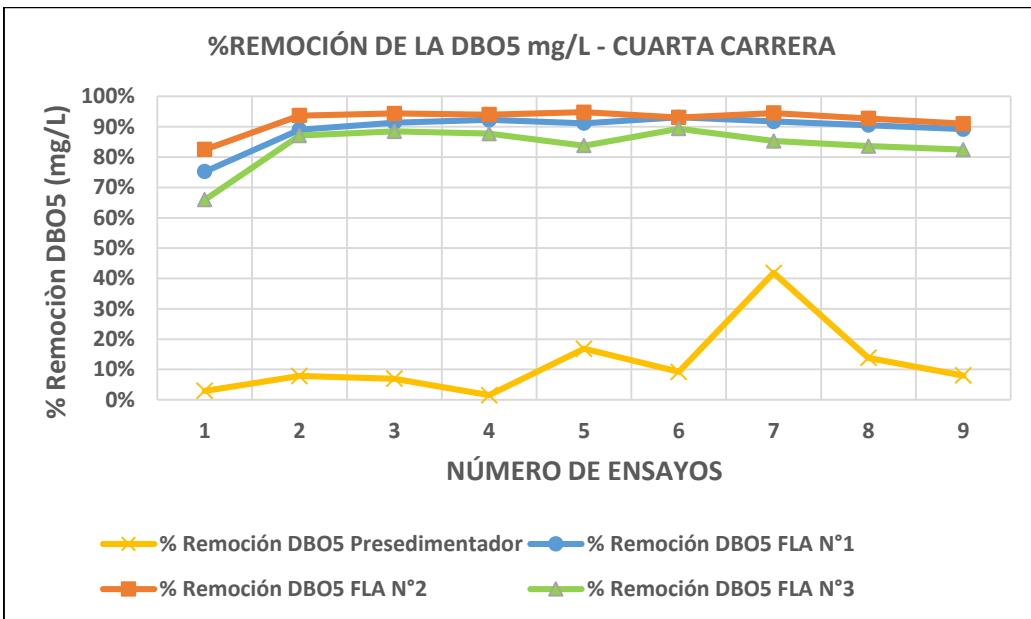


Gráfico N° 48 Variación del porcentaje de remoción de la DBO5 mg/L del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y el FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración.

10.3.9 RESULTADOS DE LOS COLIFORMES TERMOTOLERANTES EN LOS PUNTOS DE MUESTREO

10.3.9.1 Resultados de los coliformes termotolerantes NMP/100 ml en los cinco puntos de monitoreo de esta investigación, durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

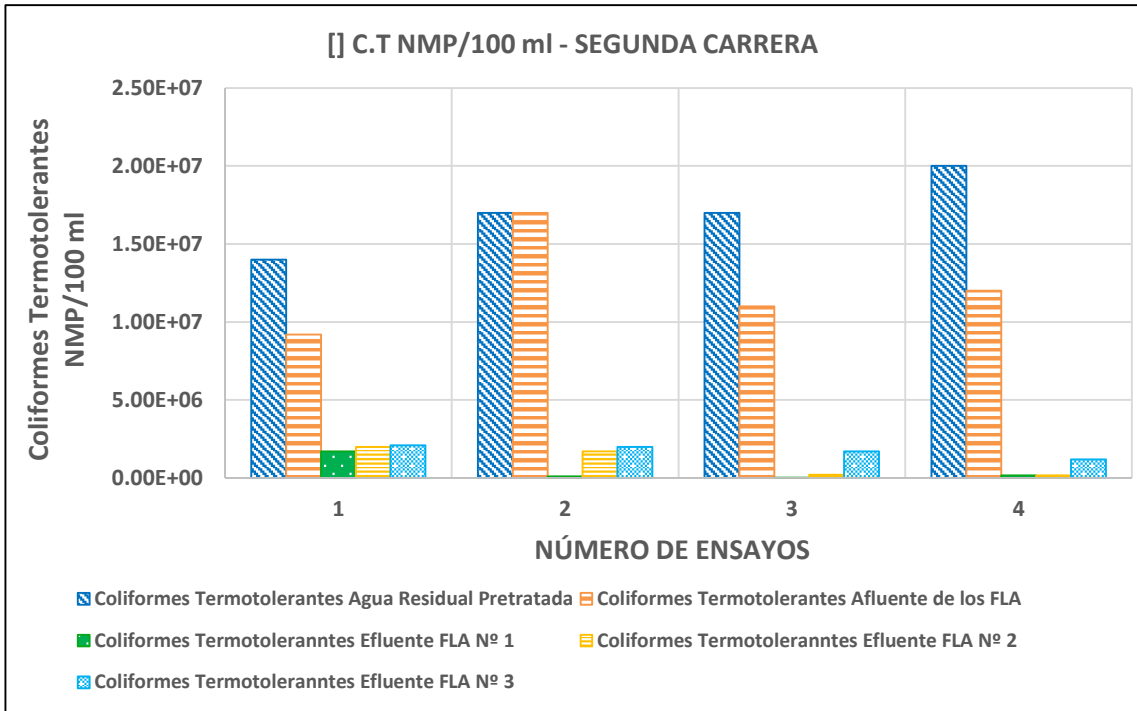


Gráfico N° 49 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la segunda carrera de filtración.

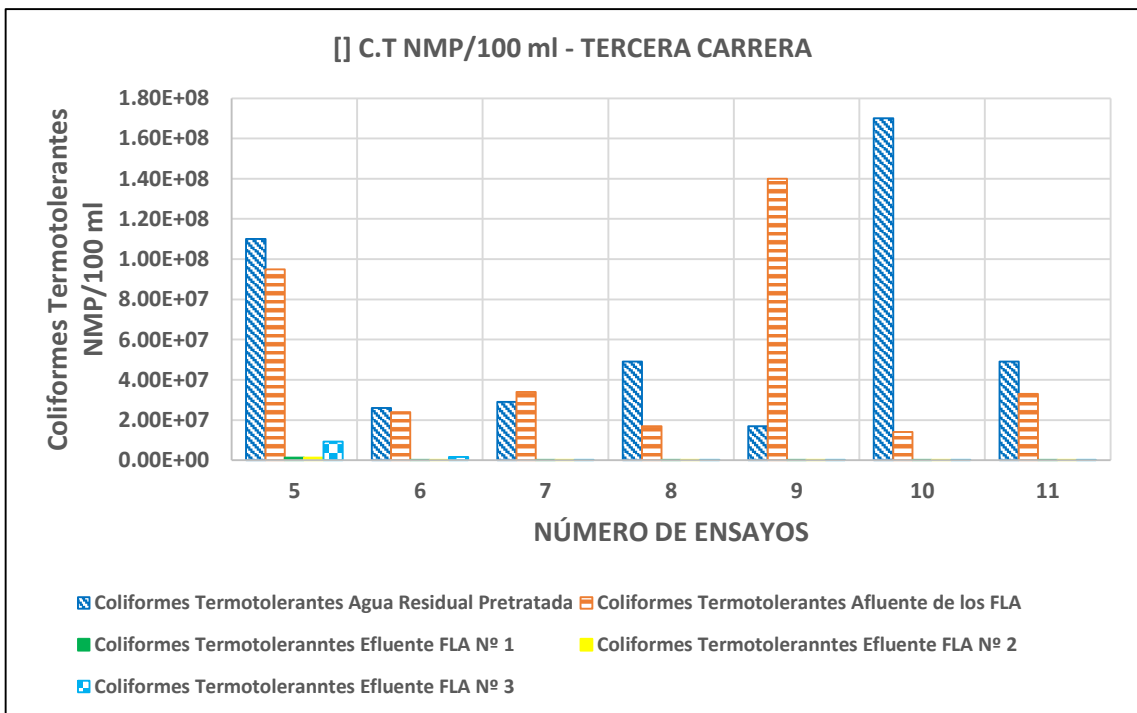


Gráfico N° 50 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la tercera carrera de filtración.

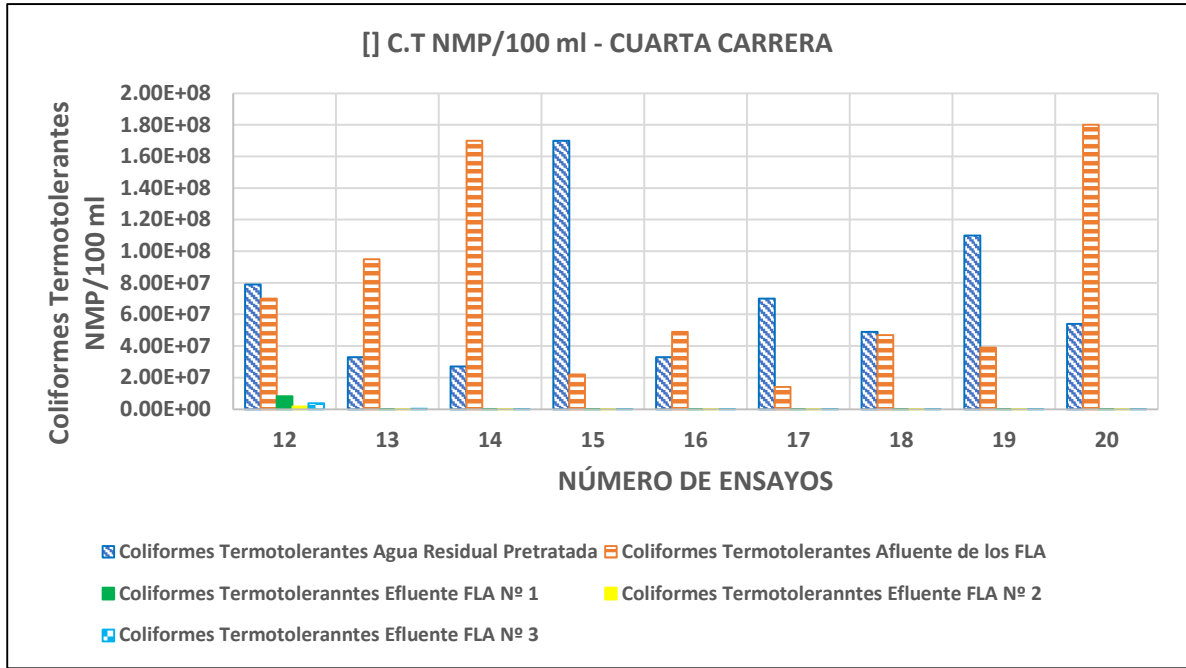


Gráfico N° 51 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la cuarta carrera de filtración.

10.3.9.2 Resultados la concentración de los coliformes termotolerantes NMP/100 ml expresados logaritmicamente, en los puntos de muestreo durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración.

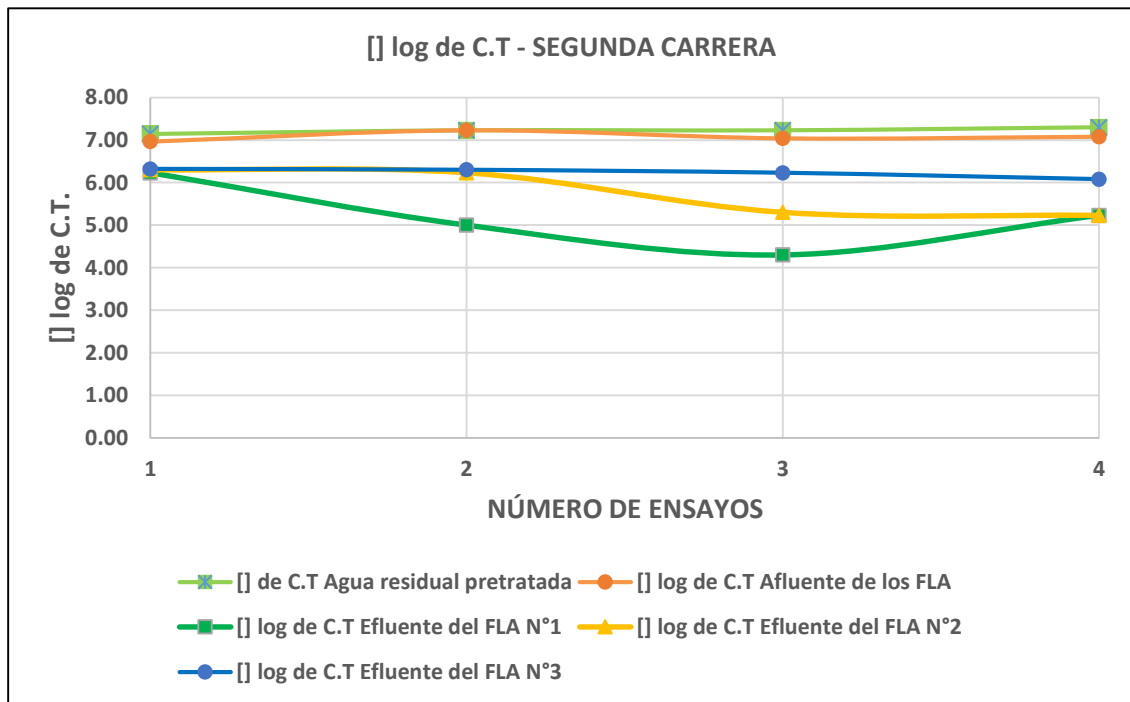


Gráfico N° 52 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logaritmicamente, en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la segunda carrera de filtración.

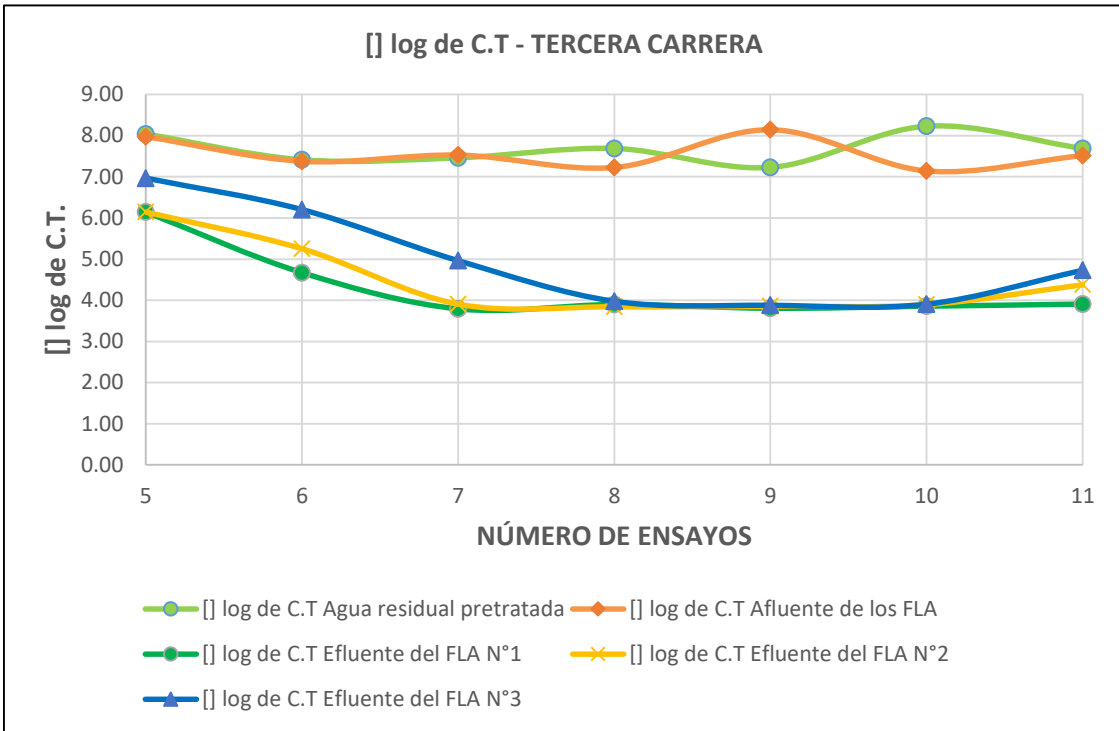


Gráfico N° 53 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logarítmicamente, en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la tercera carrera de filtración.

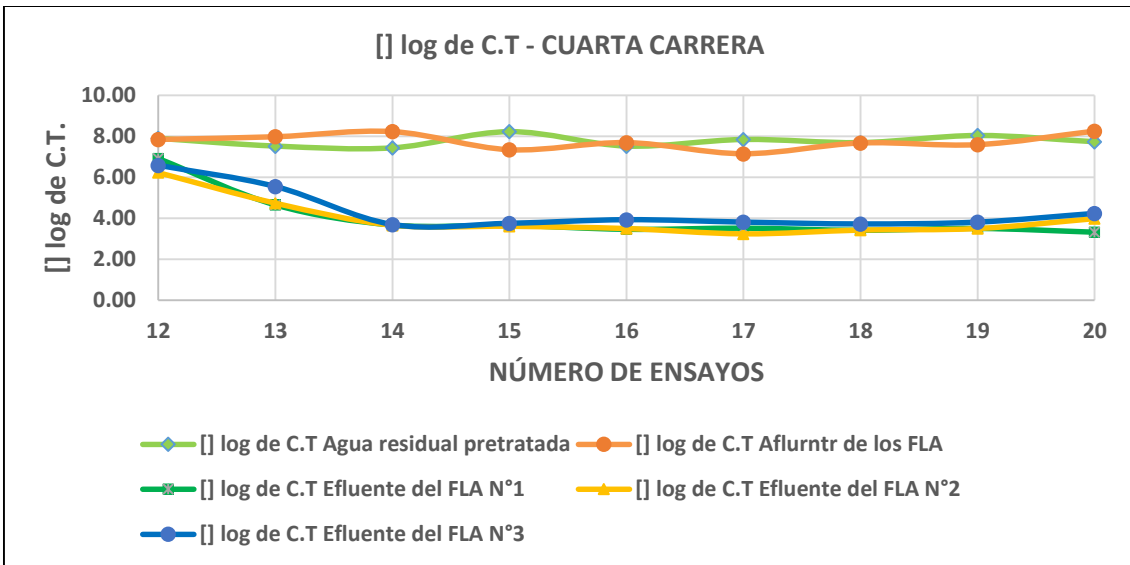


Gráfico N° 54 Variación de la concentración de Coliformes Termotolerantes NMP/100 ml expresados logarítmicamente, en los 5 puntos de monitoreo de esta investigación durante la cuarta carrera de filtración

10.3.9.3 Resultados de la eficiencia de remoción logarítmica de los coliformes termotolerantes NMP/100 ml, del Presedimentador, FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la segunda, tercera y cuarta carrera de filtración de los FLA piloto.

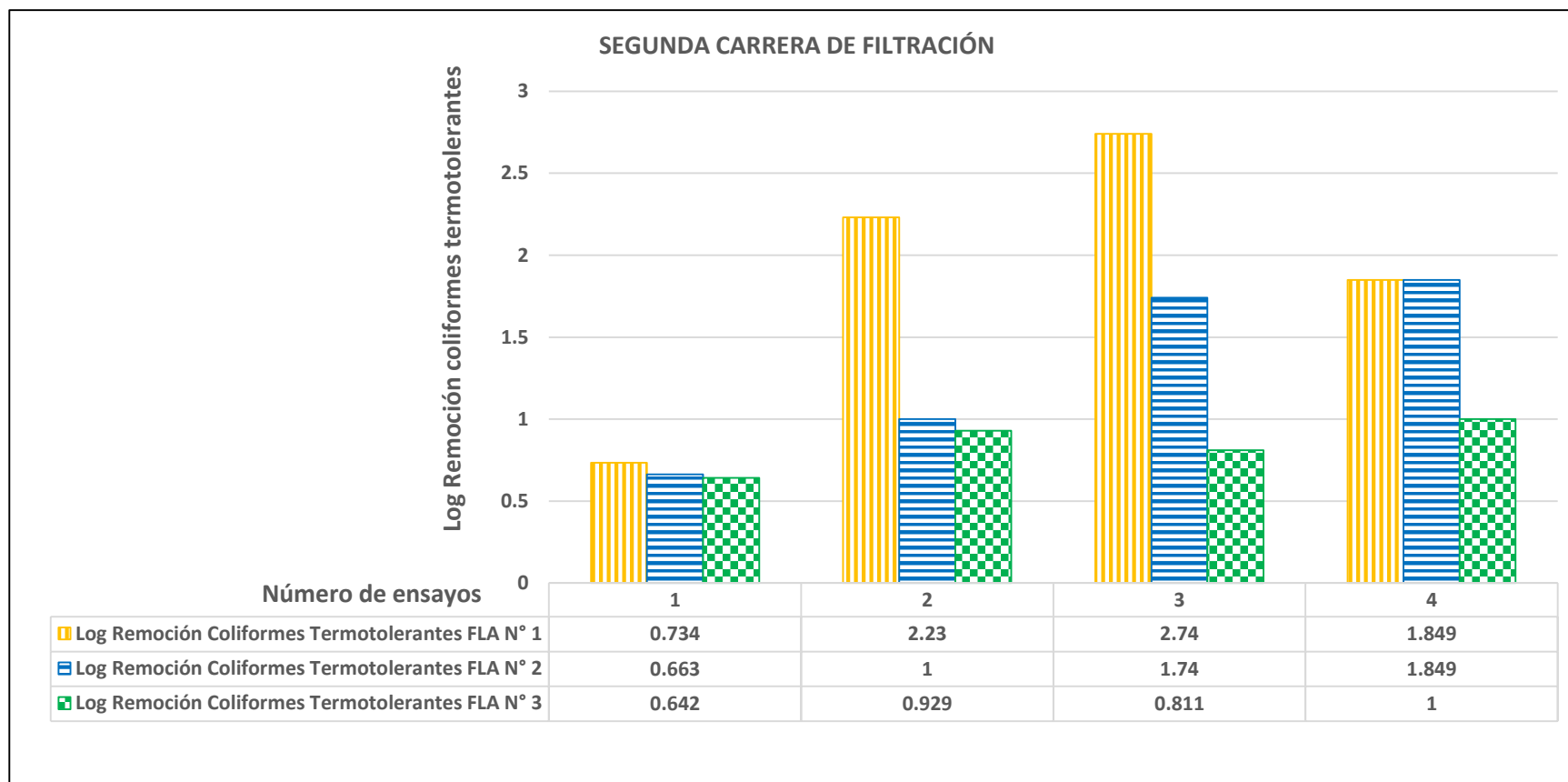


Gráfico N° 55 Remoción Logarítmica de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración de los FLA piloto

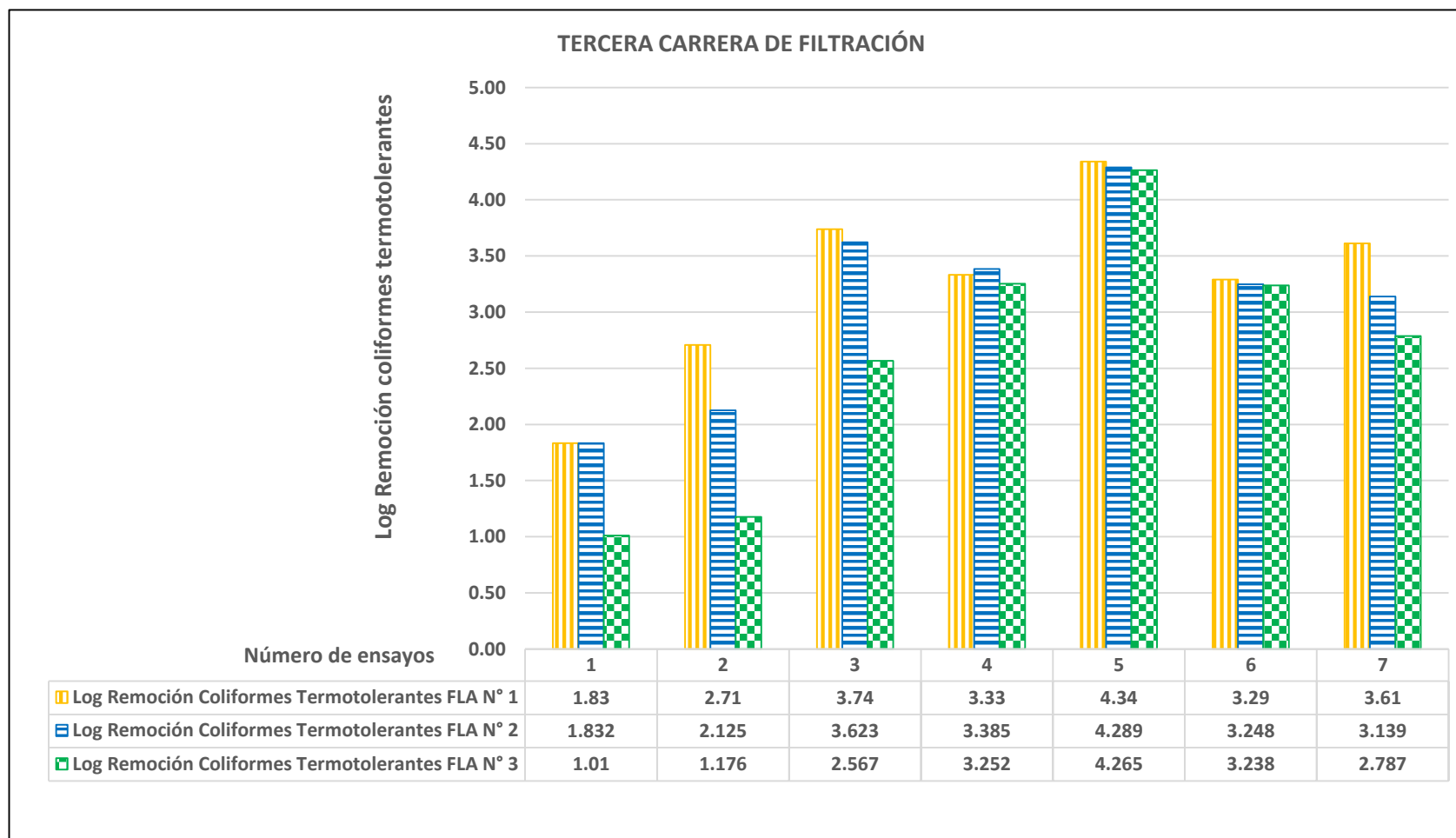


Gráfico N° 56 Remoción Logarítmica de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la tercera carrera de filtración de los FLA piloto

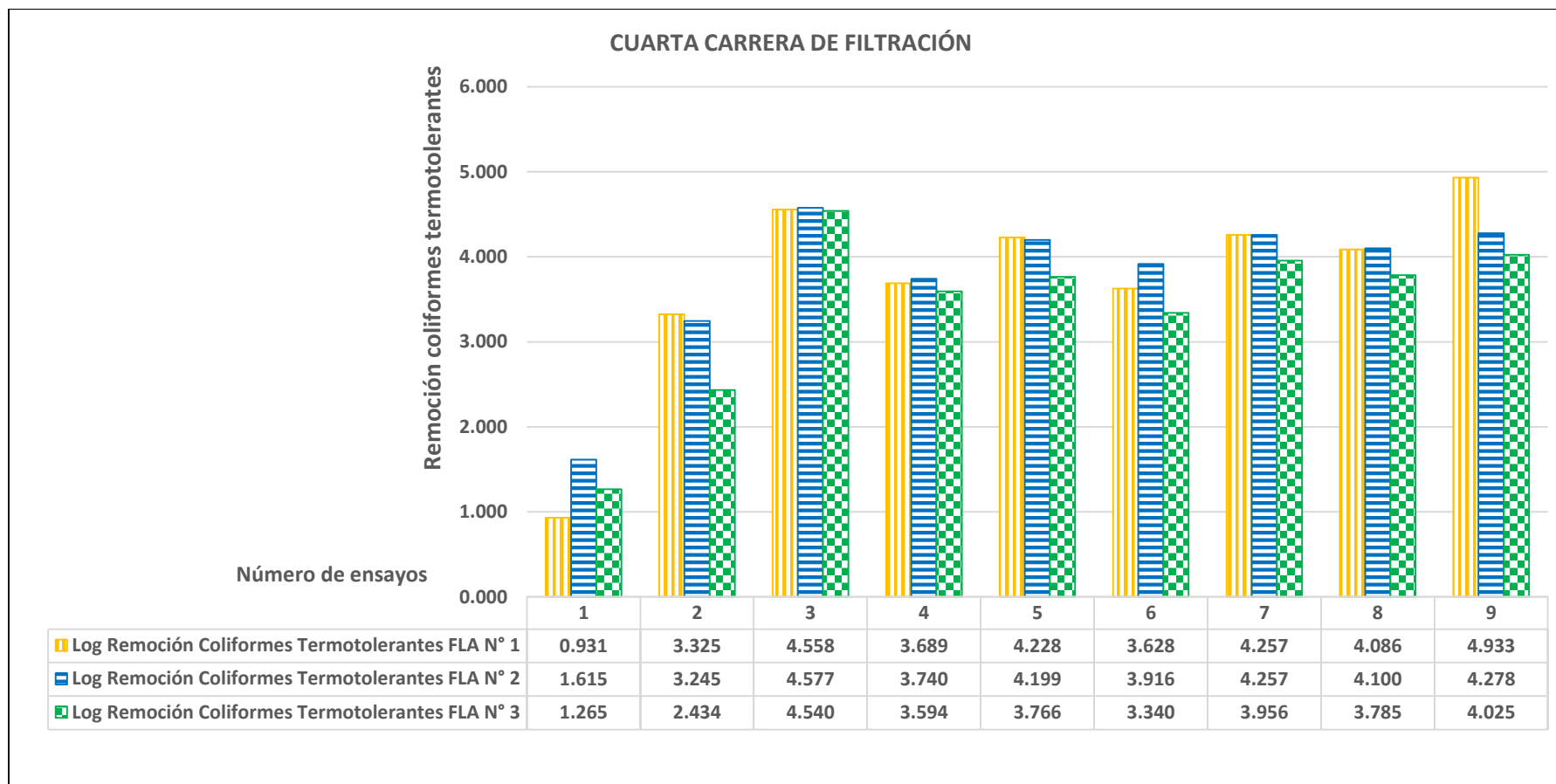


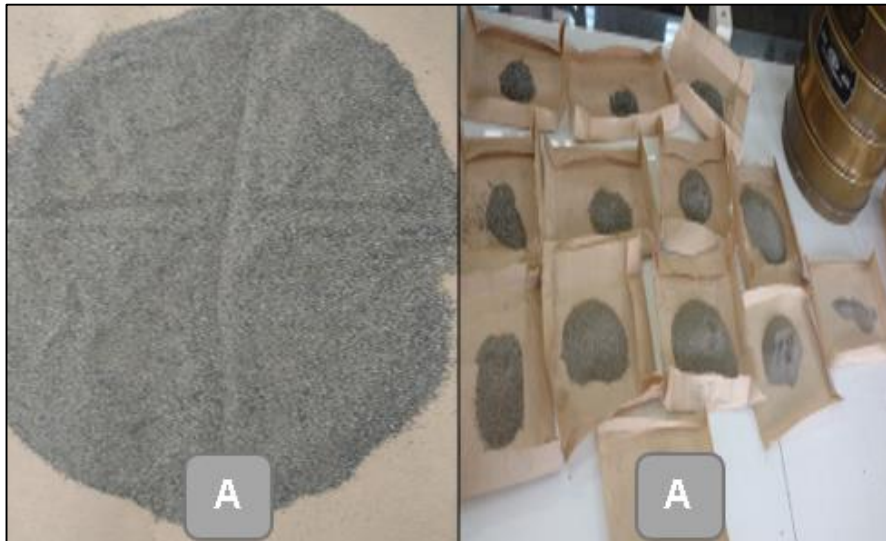
Gráfico N° 57 Remoción Logarítmica de Coliformes termotolerantes en el FLA N°1, FLA N°2 y FLA N°3 durante la cuarta carrera de filtración de los FLA piloto

10.4 ANEXO 4: PANEL FOTOGRÁFICO**PANEL FOTOGRÁFICO****COMPONENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PILOTO**

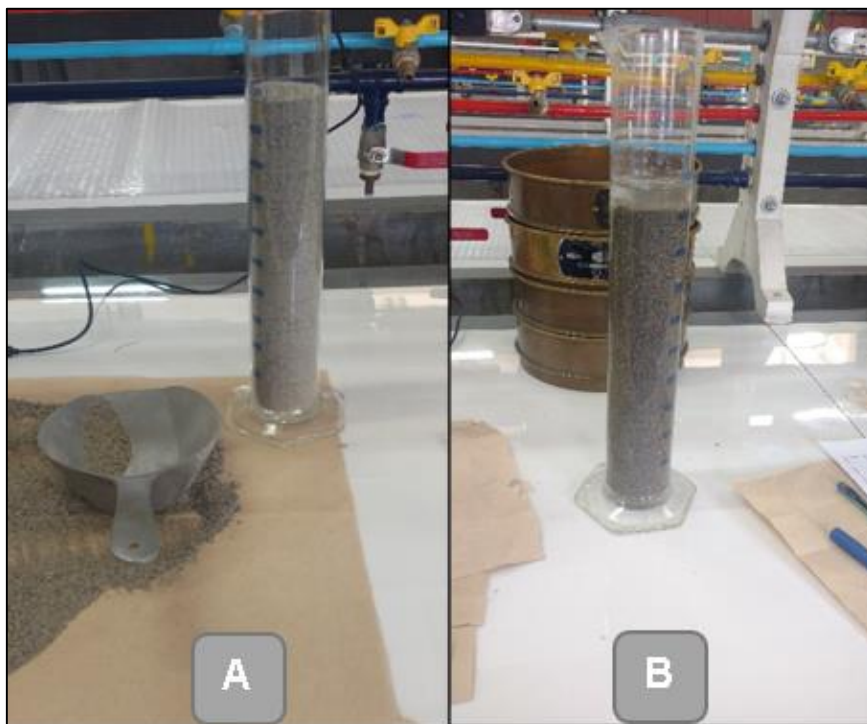
Fotografía N° 13 Lavado de cilindro (A), armado de los FLA piloto (B)



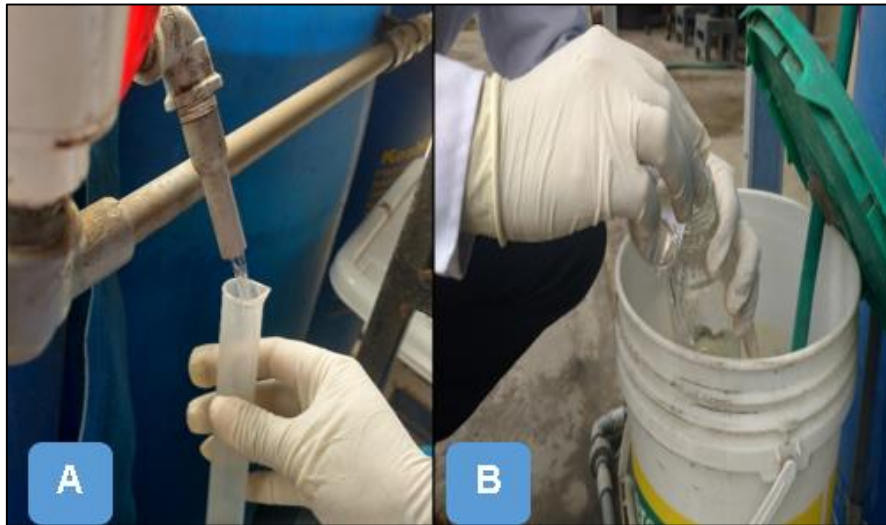
Fotografía N° 12 Aprobación de la Planta de Tratamiento Piloto con el cual se llevó acabo esta investigación.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA

Fotografía N° 14 Cuarteo de la muestra de arena (A), arena retenida por cada malla (B)



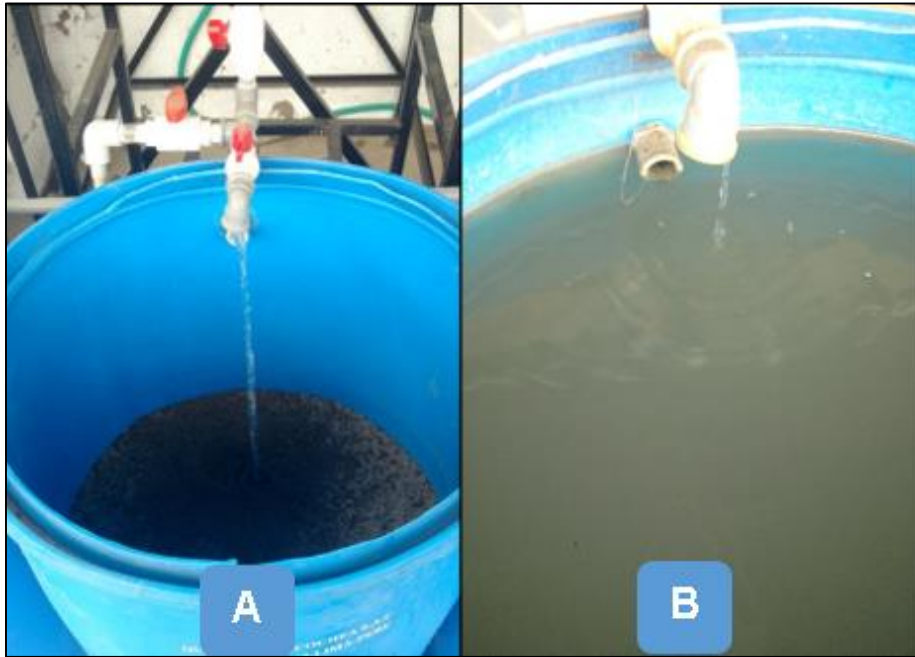
Fotografía N° 15 Llenado de la probeta con muestra de arena para determinar la porosidad (A), vertido del agua en la probeta con arena (B)

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PTAR PILOTO

*Fotografía N° 16 Aforo del afluente de los FLA (A),
Toma de muestra del efluente del FLA N°1 (B)*



*Fotografía N° 17 Limpieza de la válvula
distribuidora de caudal, la alta concentración de
sólidos en suspensión fue debido a que las
válvulas trabajaron con aperturas mínimas*



Fotografía N° 18 Inicio de la carrera de filtración del FLA (A). In De carrera de filtración, evacuación del afluente por el rebose del FLA piloto FLA N°1 (B)



Fotografía N° 19 Limpieza y evacuación por sifoneo del agua del FLA (A), retiro del medio filtrante colmatado (B)

CAMBIO DEL MEDIO FILTRANTE

Fotografía N° 20 Cambio del medio filtrante colmatado de los filtros lentos de arena: FLA N°1(A), FLA N°2 (B) y FLA N°3 (C)

PARÁMETROS ANALIZADOS



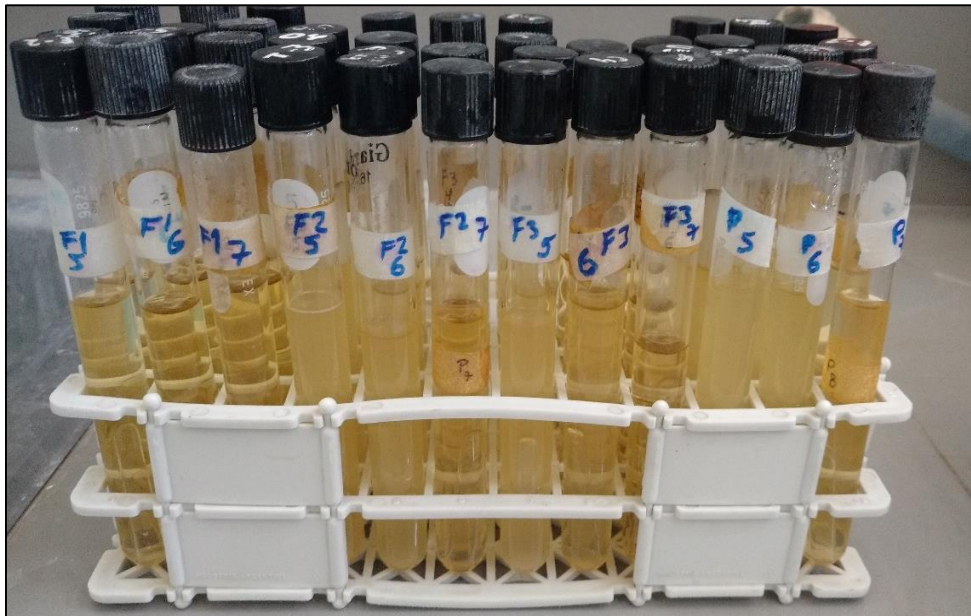
Fotografía N° 21 Retención de los sólidos en suspensión por los filtros de fibra de vidrio, luego de haber sido filtrados con el equipo de filtración al vacío



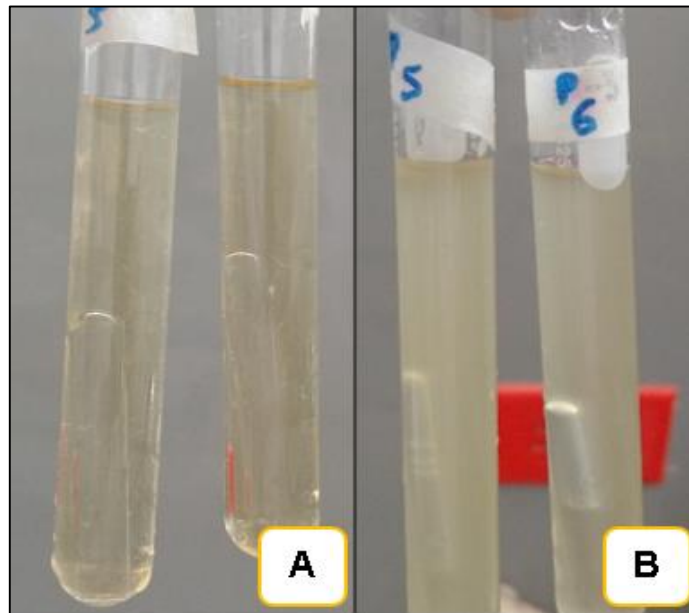
Fotografía N° 22 Capsulas en el disecador luego de haberlas retirado de la estufa a 105 °C.



Fotografía N° 23 Llenado de los frascos de Winkler con agua destilada rica en nutrientes.



Fotografía N° 24 Tubos de ensayo rotulados e inoculados, listos para poner en la incubadora.



Fotografía N° 25 No se formó gas (burbuja) dentro de los tubos Durham con medio A1, se consideró un test negativo para coliformes termotolerantes (A). Se formó gas dentro de los tubos Durham con medio A1, se consideró un test positivo para coliformes termotolerantes.



Fotografía N° 26 Observación microscópica de la formación de la capa biológica