

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“POSTRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE  
UN FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE DE  
CONCHAS MARINAS”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO SANITARIO**

ELABORADO POR:

**JAVIER ARTURO CASTRO SÁNCHEZ**

ASESORA:

DRA. ING. ROSA ELENA YAYA BEAS

LIMA - PERÚ

2019

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis padres Alberto e Irma, a mis hermanos Juan y Patricia, a mi tío Pedro y a mi novia Marjorie, que me motivaron, y brindaron apoyo y consejo de manera constante e incondicional para poder concluir con esta etapa en mi desarrollo académico.

A los investigadores que con mucha dedicación desarrollan conocimiento para lograr mejorar la calidad de vida de las personas.

### **AGRADECIMIENTO**

A mi asesora de tesis, la Dra. Ing. Rosa, por el apoyo y orientación que me otorgó para elaborar la presente tesis de investigación, por su interés y constante ayuda aun con tiempos limitados.

Al Ing. Arturo, el Sr. Oscar, la Sra. Margarita, el Sr. Raul por la atención y orientación en los ensayos en el laboratorio N° 20.

Al Sr. Javier, Srta. Litzia, el Sr. Manuel y el Sr. Ramsés y los brigadistas de CITRAR UNI, quienes atendieron mis consultas y me brindaron orientación en la construcción de los Filtros y en los ensayos en el Laboratorio de CITRAR.

A mi compañero Joaquín, por su ayuda y confianza prestada.

A mi novia Marjorie, por su paciencia y apoyo.

## RESUMEN

Esta investigación evalúa la capacidad de operación de las conchas marinas en comparación a la de las piedras chancadas, como material de soporte en dos Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente, distribuidos en paralelo.

Los filtros se operaron con tiempo de retención de 20.23h y caudales de 60.02 l/día y 13.88 l/día en los filtros de *Argopecten purpuratus* y piedra chancada respectivamente. La investigación se desarrolló durante 345 días comprendidos del 17 de mayo del 2017 al 15 de mayo del 2018. Ambos filtros utilizaron como medio de soporte 58.42 litros de *Argopecten purpuratus* y piedra chancada.

Durante la investigación se determinó que la *Argopecten purpuratus* aporta contenido de iones lo cual hace diferencialmente que los efluentes presenten alta conductividad lo cual podría favorecer en medios alcalinos.

La remoción de DBO máxima en el filtro de *Argopecten purpuratus* fue de 44.37% y en el filtro de Piedra Chancada fue de 53.01% durante la semana 41. Así mismo, la remoción máxima de SSV en los filtros fueron de 70.51% y 72.38% respectivamente durante la semana 47. Además la remoción de turbiedad máxima fue de 81.06% y de 76.01% durante la semana 54.

**ABSTRACT**

This research evaluates the operation capacity of the seashells in comparison to that of the crushed stones, as support material in two Anaerobic Upflow Filters, distributed in parallel.

The filters were operated with a retention time of 20.23h and flow rates between 60.02 l / day and 13.88 l / day for the *Argopecten purpuratus* and crushed stone filters respectively. The investigation was carried out during 345 days from May 17, 2017 to May 15, 2018. Both filters were used as a support medium for 58.42 liters of *Argopecten purpuratus* and crushed stone.

During the investigation it was determined that *Argopecten purpuratus* contribute ion content which makes differentially that the effluents present high conductivity which could favor in alkaline media.

The maximum BOD removal in the *Argopecten purpuratus* filter was 44.37% and in the Crushed Stones filter it was 53.01% during week 41. Likewise, the maximum removal of VSS in the filters was 70.51% and 72.38% respectively during week 47. In addition, the maximum turbidity removal was 81.06% and 76.01% during week 54.

## PRÓLOGO

Un criterio para elegir la investigación presente es buscar un tratamiento que sea de bajo costo y sea sostenible en las zonas más pobladas de nuestro país.

Otro motivo para continuar la investigación, en el desarrollo de esta tecnología avanzada, es encontrar que en nuestra normativa actual aún no existe una propuesta de diseño de filtros anaerobios de flujo ascendente, como tratamiento secundario de aguas residuales.

Así pues esta investigación pretende aportar a la comunidad científica datos importantes del uso de las *Argopecten purpuratus* como medio de soporte en los filtros anaerobios.

**ÍNDICE**

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
RESUMEN .....	IV
ABSTRACT .....	V
PRÓLOGO .....	VI
<b>1. CAPÍTULO I.....</b>	<b>16</b>
INTRODUCCIÓN.....	16
<b>2. CAPÍTULO II.....</b>	<b>17</b>
ANTECEDENTES.....	17
2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
2.1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
2.1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
2.2. OBJETIVO PRINCIPAL .....	19
2.3. OBJETIVOS SECUNDARIOS .....	19
2.4. HIPÓTESIS .....	20
2.5. VARIABLES DE ESTUDIO.....	20
2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES.....	20
2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES .....	20
2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES .....	20
2.5.4. PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESOS .....	21
2.6. MARCO LEGAL .....	21
2.6.1. ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ ....	21
<b>3. CAPÍTULO III.....</b>	<b>22</b>
MARCO TEÓRICO .....	22

3.1.	PROCESOS DE TRATAMIENTO.....	22
3.1.1.	PROCESOS DE CRECIMIENTO SUSPENDIDO .....	22
3.1.2.	PROCESOS DE CRECIMIENTO ADHERIDO .....	22
3.1.3.	PROCESOS COMBINADOS .....	22
3.1.4.	PROCESOS DE LAGUNAJE.....	22
3.2.	FILTROS ANAEROBIOS .....	23
3.3.	FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE .....	23
3.4.	MEDIOS DE SOPORTE .....	26
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV. ....</b>	<b>35</b>
	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	35
4.1.	AFLUENTE.....	35
4.2.	UBICACIÓN DEL SISTEMA .....	35
4.3.	REACTORES .....	36
4.4.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	36
4.5.	MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	41
4.6.	SELECCIÓN DEL MEDIO DE SOPORTE .....	43
4.7.	POROSIDAD.....	43
4.8.	DENSIDAD .....	44
4.9.	AREA SUPERFICIAL.....	44
4.10.	VOLUMEN EFECTIVO .....	48
4.11.	CAUDAL DE DISEÑO.....	48
4.12.	DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO .....	49
4.13.	PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL .....	49
4.14.	CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL.....	50
4.15.	PARÁMETROS EVALUADOS.....	50
4.16.	ETAPAS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	50



<b>5. CAPÍTULO V.</b>	<b>54</b>
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	54
5.1. DE LA POROSIDAD DE LOS MEDIOS DE SOPORTE	54
5.2. DE LA DENSIDAD DE <i>ARGOPECTEN PURPURATUS</i> COMO MEDIO DE SOPORTE	54
5.3. DEL AREA SUPERFICIAL DEL MEDIO DE SOPORTE	55
5.4. DE LA ADHERENCIA DEL MEDIO DE SOPORTE	56
5.5. DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS	57
5.5.1. DURANTE EL PERIODO DE LA PRIMERA ETAPA	57
5.5.2. DURANTE EL PERIODO DE LA SEGUNDA ETAPA	58
5.5.3. DURANTE EL PERIODO DE LA TERCERA ETAPA	58
<b>6. CAPÍTULO VI.</b>	<b>59</b>
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
6.1. DE LOS PARAMETROS DE MEDICIÓN EVALUADOS	59
6.1.1. TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA EN LOS PUNTOS DE MUESTREO	59
6.1.2. PH	62
6.1.3. TEMPERATURA EN PUNTO DE MUESTREO Y PH	65
6.1.4. TURBIEDAD	67
6.1.5. TEMPERATURA EN PUNTOS DE MUESTREO Y TURBIEDAD	70
6.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	72
6.1.7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	74
6.1.8. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO EN PUNTO DE MUESTREO Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES	76
6.1.9. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN PUNTO DE MUESTREO Y TEMPERATURA	77
6.1.10. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	79
6.1.11. CONDUCTIVIDAD	81

6.1.12. CARGA ORGÁNICA .....	83
6.1.13. SOLIDOS SEDIMENTABLES .....	85
6.2. DEL CUMPLIMIENTO DEL MARCO LEGAL .....	87
6.2.1. REFERENTE A LOS ECA .....	87
6.2.2. REFERENTE A LOS LMP .....	88
<b>7. CAPÍTULO VII. ....</b>	<b>89</b>
CONCLUSIONES .....	89
<b>8. CAPÍTULO VIII. ....</b>	<b>92</b>
RECOMENDACIONES .....	92
<b>9. CAPÍTULO IX. ....</b>	<b>94</b>
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94
<b>10. CAPÍTULO X. ....</b>	<b>100</b>
ANEXOS .....	100
10.1. ANEXO N° 1: MARCO LEGAL .....	100
10.2. ANEXO N° 2: RESULTADOS OBTENIDOS POR SEMANAS .....	105
10.3. ANEXO N° 3: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS .....	120
10.4. ANEXO N° 4: DESCRIPCIÓN DE LAS <i>ARGOPECTEN</i> <i>PURPURATUS</i> UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN .....	123
10.5. ANEXO N° 5: ANÁLISIS HIDRAULICO DE LOS FILTROS .....	130
10.10. ANEXO N° 6: CÁLCULO DE COEFICIENTES .....	137
10.11. ANEXO N° 7: PANEL FOTOGRÁFICO .....	142

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Etapas en la Digestión Anaerobia.....	25
Figura 4.1 Diagrama Esquemático del Sistema de Filtro Ascendente. Se indica los puntos de muestreo A, B y C .....	37
Figura 4.2 Esquema Isométrico del Sistema de Filtros Anaerobios .....	38
Figura 4.3 Esquema de volúmenes dentro de los Filtros.....	49
Figura 4.4 Recolectores de efluentes utilizados en la investigación .....	53

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 3.1 <i>Choromytilus chorus</i> (Choro).....	30
Fotografía 3.2 <i>Mytilus chilensis</i> (Chorito).....	30
Fotografía 3.3 <i>Aulacomya ater</i> (Cholga).....	30
Fotografía 3.4 <i>Argopecten purpuratus</i> .....	31
Fotografía 3.5 Bancos significativos de <i>Argopecten purpuratus</i> en la costa.....	33
Fotografía 4.1 Muestra de 12 <i>Argopecten purpuratus</i> para el cálculo de la superficie específica. Caras convexa y cóncava. ....	46
Fotografía 4.2 <i>Argopecten purpuratus</i> forrada con papel manteca.....	46
Fotografía 4.3 Medición del grosor del <i>Argopecten purpuratus</i> con vernier. ....	47
Fotografía 4.4 Muestra de <i>Argopecten purpuratus</i> de 3.5mm de longitud, visto con aumento en 10,40 y 100 veces.....	48
Fotografía 4.5 Camal frigorífico La Colonial.....	53
Fotografía 6.1 Sedimentadores .....	85
Fotografía 6.2 Sedimento acumulado en sedimentador de efluente de Filtro F <sub>1</sub>	85
Fotografía 6.3 Medición de sólidos sedimentables .....	86
Fotografía 10.1 Terminal Pesquero de Ventanilla, Callao. ....	124
Fotografía 10.2 Muestra de <i>Argopecten purpuratus</i> seleccionadas.....	124
Fotografía 10.3 Recipientes con muestra del Afluente y Agua Potable .....	125
Fotografía 10.4 Restos de degradación de <i>Argopecten purpuratus</i> de los reactores batch 1 (izquierda) y 2 (derecha) .....	128
Fotografía 10.5 Ubicación inicial y final de los filtros en la zona de tesis 2.....	142
Fotografía 10.6 Caja de llaves eléctricas .....	142
Fotografía 10.7 Sistema de válvula flotadora para un caudal constante.....	143
Fotografía 10.8 Cambio de recolector de efluente de los filtros. ....	143
Fotografía 10.9 Impermeabilización de niples de ingreso en reducción 8"x4" y del tapón de 4" .....	143
Fotografía 10.10 Círculo de plancha perforada de acero inoxidable para base del medio de soporte. ....	144
Fotografía 10.11 Canicas colocadas en la base de los filtros. ....	144
Fotografía 10.12 Taper de 10 litros plástico adaptado como sedimentador. ....	144
Fotografía 10.13 Tamizado de piedra chancada. ....	145
Fotografía 10.14 Limpieza y secado del material seleccionado .....	145
Fotografía 10.15 Aforo a la salida de los Filtros.....	145
Fotografía 10.16 Termohigrómetro.....	146
Fotografía 10.17 Lectura de Turbiedad y Conductividad en Laboratorio de CITRAR .....	146
Fotografía 10.18 Análisis en laboratorio de Sólidos Suspendidos Volátiles. ....	146
Fotografía 10.19 Medición de Oxígeno disuelto con oxímetros .....	147
Fotografía 10.20 Cálculo de densidades de las <i>Argopecten purpuratus</i> y piedra chancada como medio filtrante en laboratorio .....	147

Fotografía 10.21 Muestreo nocturno realizado para analizar el comportamiento hidráulico de los filtros. ....	147
Fotografía 10.22 <i>Argopecten purpuratus</i> y piedra chancada al final de la investigación.....	148
Fotografía 10.23 <i>Argopecten purpuratus</i> con biofilm (izquierda) y sin biofilm (derecha) .....	148
Fotografía 10.24 Piedra chancada con biofilm (izquierda) y sin biofilm (derecha) .....	149
Fotografía 10.25 Peranema en biofilm de <i>Argopecten purpuratus</i> del Filtro F <sub>1</sub>	149
Fotografía 10.26 Paramecium en biofilm de <i>Argopecten purpuratus</i> del Filtro F <sub>1</sub> . .....	149
Fotografía 10.27 Paramecium en biofilm de piedra chancada del Filtro F <sub>2</sub> .....	150

### ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Desembarque del <i>Aulacomya ater</i> (1953–2006).....	32
Gráfico 3.2 Desembarque del <i>Argopecten purpuratus</i> en el litoral (1970–2007).32	
Gráfico 3.3 Cosecha del recurso <i>Argopecten purpuratus</i> en Perú (1996–2006) 33	
Gráfico 5.1 Relación entre el peso de Biofilm y peso de los medios de soporte 57	
Gráfico 6.1 Temperatura Ambiental y en los puntos A, B y C Vs. Tiempo (Semanas).....	60
Gráfico 6.2 Potencial de hidrógeno Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F <sub>1</sub> .....	63
Gráfico 6.3 Potencial de hidrógeno Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F <sub>2</sub> .....	63
Gráfico 6.4 Potencial de hidrógeno Vs. Tiempo (Semanas) en los Efluentes de los Filtros .....	64
Gráfico 6.5 pH y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo B .....	65
Gráfico 6.6 pH y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo C .....	66
Gráfico 6.7 Eficiencia del Filtro F <sub>1</sub> en remoción de turbiedad Vs. Tiempo (Semanas).....	68
Gráfico 6.8 Eficiencia del Filtro F <sub>2</sub> en remoción de turbiedad Vs. Tiempo (Semanas).....	69
Gráfico 6.9 Eficiencia de los Filtros en remoción de Turbiedad Vs Tiempo (Semana).....	70
Gráfico 6.10 Temperatura y Turbiedad Vs Tiempo (Semana) en el Pto B.....	71
Gráfico 6.11 Temperatura y Turbiedad Vs Tiempo (Semana) en el Pto C.....	71
Gráfico 6.12 Eficiencia del Filtro F <sub>1</sub> en remoción de DBO Vs. Tiempo (Semanas) .....	72
Gráfico 6.13 Eficiencia del Filtro F <sub>2</sub> en remoción de DBO Vs. Tiempo (Semanas) .....	73
Gráfico 6.14 Eficiencia de los Filtros en remoción de DBO Vs. Tiempo (Semana) .....	73
Gráfico 6.15 Eficiencia del Filtro F <sub>1</sub> en remoción de SSV Vs. Tiempo (Semanas) .....	74
Gráfico 6.16 Eficiencia del Filtro F <sub>2</sub> en remoción de SSV Vs. Tiempo (Semanas) .....	75
Gráfico 6.17 Eficiencia de los Filtros en remoción de SSV Vs. Tiempo (Semana) .....	75
Gráfico 6.18 DBO y SSV Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo B ....	76

Gráfico 6.19 DBO y SSV Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo C....	77
Gráfico 6.20 SSV y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo B.....	78
Gráfico 6.21 SSV y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo C.....	78
Gráfico 6.22 Eficiencia del Filtro F <sub>1</sub> en remoción de SST Vs. Tiempo (Semanas).....	79
Gráfico 6.23 Eficiencia del Filtro F <sub>2</sub> en remoción de SST Vs. Tiempo (Semanas).....	80
Gráfico 6.24 Eficiencia de los Filtros en remoción de SST Vs. Tiempo (Semana).....	80
Gráfico 6.25 Conductividad Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F <sub>1</sub> .....	81
Gráfico 6.26 Conductividad Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F <sub>2</sub> .....	82
Gráfico 6.27 Conductividad Vs. Tiempo (Semanas) en los Filtros.....	82
Gráfico 6.28 Eficiencia del Filtro F <sub>1</sub> en remoción de Carga orgánica Vs. Tiempo (Semanas).....	83
Gráfico 6.29 Eficiencia del Filtro F <sub>2</sub> en remoción de Carga orgánica Vs. Tiempo (Semanas).....	84
Gráfico 6.30 Eficiencia de los Filtros en remoción de Carga Orgánica Vs Tiempo (Semana).....	84
Gráfico 6.31 Solidos Sedimentables Vs. Tiempo (Semanas) en efluente de los filtros.....	87
Gráfico 10.1 Disminución del peso de <i>Argopecten purpuratus</i> durante 50 días en muestras del efluente del TS-UASB y de Agua Potable.....	126
Gráfico 10.2 Disminución del peso de <i>Argopecten purpuratus</i> durante 42 días en muestras del efluente del Desarenador y Agua Potable.....	126
Gráfico 10.3 Disminución del peso de <i>Argopecten purpuratus</i> Vs. Tiempo (días) en Reactores batch.....	127
Gráfico 10.4 Disminución del peso de <i>Argopecten purpuratus</i> durante 92 días en los reactores batch.....	127
Gráfico 10.5 Conductividad Vs. Tiempo (días) en Reactores batch.....	129
Gráfico 10.6 Oxígeno Disuelto Vs. Tiempo (días) en Reactores batch.....	130
Gráfico 10.7 Potencial de Hidrógeno Vs. Tiempo (días) en Reactores batch...	130
Gráfico 10.8 Conductividad añadida por el trazador en los Filtros Vs Tiempo (minutos).....	131
Gráfico 10.9 Conductividad añadida por el trazador en el Filtro F <sub>1</sub> Vs Tiempo (minutos).....	132
Gráfico 10.10 Conductividad añadida por el trazador en el Filtro F <sub>2</sub> Vs Tiempo (minutos).....	132
Gráfico 10.11 Aplicación del método de Wolf y Resnick para el Filtro F <sub>1</sub> .....	133
Gráfico 10.12 Aplicación del método de Wolf y Resnick para el Filtro F <sub>2</sub> .....	134
Gráfico 10.13 Índice de Morrill para el Filtro F <sub>1</sub> .....	136
Gráfico 10.14 Índice de Morrill para el Filtro F <sub>2</sub> .....	136
Gráfico 10.15 Eficiencia en Remoción de DBO en el Filtro F <sub>1</sub> Vs. Tiempo de Retención Hidráulica.....	139
Gráfico 10.16 Eficiencia en Remoción de DBO en el Filtro F <sub>2</sub> Vs. Tiempo de Retención Hidráulica.....	141

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Clasificación de los principales constituyentes que pueden encontrarse en el agua residual.....	23
Tabla 3.2 Procesos de Digestión Anaerobia .....	24
Tabla 3.3 Ventajas y Desventajas de las Alternativas de Tratamiento por medio de Procesos Anaerobios.....	26
Tabla 3.4 Requisitos de medios de soporte en filtros anaerobios.....	28
Tabla 3.5 Composición química de la concha de ostra. ....	29
Tabla 4.1 Comparación entre áreas superficiales de grava de río y concha marina.....	45
Tabla 4.2 Monitoreos realizados durante la tesis de investigación .....	51
Tabla 4.3 Método de medición de parámetros fisicoquímicos.....	52
Tabla 4.4 Etapas del Proyecto de Investigación .....	53
Tabla 5.1 Medición de las porosidades de los 2 filtros en campo. ....	54
Tabla 5.2 Medición de las densidades del <i>Argopecten purpuratus</i> como medio de soporte.....	54
Tabla 5.3 Cálculo de <i>Argopecten purpuratus</i> por unidad de volumen .....	54
Tabla 5.4 Superficie específica del medio de soporte del Filtro F <sub>1</sub> .....	55
Tabla 5.5 Relación de peso seco y biofilm adherido en el Filtro F <sub>1</sub> .....	56
Tabla 5.6 Relación de peso seco y biofilm adherido en el Filtro F <sub>2</sub> .....	56
Tabla 5.7 Resultados en el periodo de la Etapa N° 01 .....	57
Tabla 5.8 Resultados en el periodo de la Etapa N° 02 .....	58
Tabla 5.9 Resultados en el periodo de la Etapa N° 03 .....	58
Tabla 6.1 Valores Comparativos de Temperatura entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	61
Tabla 6.2 Valores Comparativos de pH entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	64
Tabla 6.3 Valores Comparativos de Turbiedad entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	69
Tabla 6.4 Valores Comparativos de DBO entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	74
Tabla 6.5 Valores Comparativos de SSV entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	76
Tabla 6.6 Valores Comparativos de SST entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	79
Tabla 6.7 Valores Comparativos de Conductividad entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	83
Tabla 6.8 Valores Comparativos de Carga Orgánica entre el Filtro F <sub>1</sub> y F <sub>2</sub> .....	85
Tabla 6.9 Sólidos sedimentables en efluente de filtros.....	86
Tabla 10.1 Estándares de Calidad Ambiental - Categoría 3.....	103
Tabla 10.2 Límites máximo permisibles para efluentes de una PTAR.....	104
Tabla 10.3 Resultados obtenidos durante la semana N° 01.....	105
Tabla 10.4 Resultados obtenidos durante la semana N° 02.....	105
Tabla 10.5 Resultados obtenidos durante la semana N° 03.....	105
Tabla 10.6 Resultados obtenidos durante la semana N° 04.....	106
Tabla 10.7 Resultados obtenidos durante la semana N° 05.....	106
Tabla 10.8 Resultados obtenidos durante la semana N° 08.....	106
Tabla 10.9 Resultados obtenidos durante la semana N° 09.....	107
Tabla 10.10 Resultados obtenidos durante la semana N° 10 .....	107
Tabla 10.11 Resultados obtenidos durante la semana N° 11 .....	107
Tabla 10.12 Resultados obtenidos durante la semana N° 12 .....	108
Tabla 10.13 Resultados obtenidos durante la semana N° 13 .....	108
Tabla 10.14 Resultados obtenidos durante la semana N° 14 .....	108
Tabla 10.15 Resultados obtenidos durante la semana N° 15 .....	109
Tabla 10.16 Resultados obtenidos durante la semana N° 16 .....	109
Tabla 10.17 Resultados obtenidos durante la semana N° 17 .....	109
Tabla 10.18 Resultados obtenidos durante la semana N° 18 .....	110

Tabla 10.19 Resultados obtenidos durante la semana N° 20 .....	110
Tabla 10.20 Resultados obtenidos durante la semana N° 21 .....	110
Tabla 10.21 Resultados obtenidos durante la semana N° 22 .....	111
Tabla 10.22 Resultados obtenidos durante la semana N° 23 .....	111
Tabla 10.23 Resultados obtenidos durante la semana N° 24 .....	111
Tabla 10.24 Resultados obtenidos durante la semana N° 26 .....	112
Tabla 10.25 Resultados obtenidos durante la semana N° 27 .....	112
Tabla 10.26 Resultados obtenidos durante la semana N° 28 .....	112
Tabla 10.27 Resultados obtenidos durante la semana N° 29 .....	113
Tabla 10.28 Resultados obtenidos durante la semana N° 30 .....	113
Tabla 10.29 Resultados obtenidos durante la semana N° 31 .....	113
Tabla 10.30 Resultados obtenidos durante la semana N° 32 .....	114
Tabla 10.31 Resultados obtenidos durante la semana N° 34 .....	114
Tabla 10.32 Resultados obtenidos durante la semana N° 35 .....	114
Tabla 10.33 Resultados obtenidos durante la semana N° 36 .....	115
Tabla 10.34 Resultados obtenidos durante la semana N° 37 .....	115
Tabla 10.35 Resultados obtenidos durante la semana N° 38 .....	115
Tabla 10.36 Resultados obtenidos durante la semana N° 39 .....	116
Tabla 10.37 Resultados obtenidos durante la semana N° 41 .....	116
Tabla 10.38 Resultados obtenidos durante la semana N° 42 .....	116
Tabla 10.39 Resultados obtenidos durante la semana N° 43 .....	117
Tabla 10.40 Resultados obtenidos durante la semana N° 44 .....	117
Tabla 10.41 Resultados obtenidos durante la semana N° 45 .....	117
Tabla 10.42 Resultados obtenidos durante la semana N° 46 .....	118
Tabla 10.43 Resultados obtenidos durante la semana N° 47 .....	118
Tabla 10.44 Resultados obtenidos durante la semana N° 48 .....	118
Tabla 10.45 Resultados obtenidos durante la semana N° 49 .....	119
Tabla 10.46 Resultados obtenidos durante la semana N° 50 .....	119
Tabla 10.47 Resultados obtenidos durante la semana N° 52 .....	119
Tabla 10.48 Resultados obtenidos durante la semana N° 53 .....	120
Tabla 10.49 Resultados obtenidos durante la semana N° 54 .....	120
Tabla 10.50 Resumen de las eficiencias del Filtro F <sub>1</sub> en Remoción de parámetros evaluados .....	120
Tabla 10.51 Resumen de las eficiencias del Filtro F <sub>2</sub> en Remoción de parámetros evaluados .....	122
Tabla 10.52 Remoción de DBO en reactores batch .....	129
Tabla 10.53 Relaciones de Parámetros principales en el Efluente de los Filtros .....	133
Tabla 10.54 Valores de los criterios para el Análisis por el método de Wolf y Resnick .....	134
Tabla 10.55 Tiempo de Retención Hidráulica (horas) y Eficiencia en Remoción de DBO (%) en el Filtro F <sub>1</sub> .....	138
Tabla 10.56 Regresión Potencial en el Filtro F <sub>1</sub> .....	139
Tabla 10.57 Tiempo de Retención Hidráulica (horas) y Eficiencia en Remoción de DBO (%) en el Filtro F <sub>2</sub> .....	140
Tabla 10.58 Regresión Potencial en el Filtro F <sub>2</sub> .....	140

## **1. CAPÍTULO I.**

### **INTRODUCCIÓN**

Dentro de los tratamientos convencionales de aguas residuales, es necesario realizar postratamiento para remover la materia orgánica. Proyectos de Saneamiento en zonas periurbanas de las ciudades en donde no han llegado las redes de alcantarillado, tienen la opción de tratamiento mediante unidades modulares de tratamiento. Una de las cuales es el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) el cual es la base de la presente tesis.

La formación de microorganismos en el medio de soporte del FAFA es de gran importancia debido a que estos son los que transforman la materia orgánica u otros componentes de las aguas residuales disminuyendo la contaminación que se generaría si se vertieran en el suelo o cuerpos de agua. El medio de soporte, para ser considerado como tal, tiene ciertas características que permiten que el tejido celular se adhiera a dicho medio; entre estos medios se tienen rocas, plásticos diseñados en diferentes formas como plásticos lisos o corrugados, y también materiales naturales como cascara de coco y tallo de guadua.

Realizando un montaje de un tanque de mezcla, un dispositivo de nivelación de caudal, dos FAFA y dos sedimentadores en paralelo, se llevó a cabo la investigación en la zona de tesis 2 del Centro de Investigación de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI).



## 2. CAPÍTULO II.

### ANTECEDENTES

En la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México, (Villanueva et al., 2012) evaluaron la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en dos biofiltros con diferentes empaques: El primer biofiltro usó un empaque orgánico (Fibra de coco) el cual, removió la carga orgánica, 80% a un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 48 h y 75% a un TRH de 24 h. El segundo biofiltro con empaque de grava removió 62.5% a un TRH de 48 h y 27% a un TRH de 24 h. De los dos empaques evaluados mediante la DQO se mostró que el medio que permitió encontrar las mejores condiciones operacionales y de mayor porcentaje de remoción fue el empaque de fibra de coco. Su porosidad natural permitió que el empaque presentara un flujo constante, el tratamiento de más litros de agua residual que el biofiltro con empaque de grava y una mayor remoción de la materia orgánica. Se observó además en esa investigación que el empaque, por ser de origen natural, debe tener una limpieza o pretratamiento antes de su uso, debido, a que presenta un pH ácido que perjudicaría al tratamiento, sales que pueden inhibir el tratamiento. La limpieza debe ser con agua limpia que elimina fácilmente las sales y el pH natural de la fibra.

En la Universidad Mariana, de San Juan de Pasto, Colombia, (Cárdenas & Ramos, 2008) compararon cuatro filtros anaerobios que contenían diferentes materiales, entre ellos grava y concha marina. Sus conclusiones fueron que la concha marina como medio de soporte es la mejor opción como unidad principal para el tratamiento biológico de las aguas mieles residuales por presentar las mayores eficiencias de remoción de materia orgánica en términos de DQO y DBO en todas las fases (arranque, estabilización y operación normal) en comparación con los otros materiales evaluados. En el caso de la operación normal con cargas de alimentación de agua miel de: 3.7–5.1 KgDQO/m<sup>3</sup>.d a un TRH de 26 h, se obtuvo en el reactor con lecho de concha marina 89,7% para DQO y 87.8% para DBO<sub>5</sub>. Gracias a su estructura física que ofrece un microambiente adecuado y por su composición química, fuente natural de alcalinidad y micronutrientes al sistema, lo que hace que se lo considere como el medio de contacto más adecuado para

diseñar e implementar filtros anaerobios de lecho fijo en la industria artesanal panelera.

Gracias a estos trabajos y con la bibliografía respectiva se obtiene fuentes de datos para el desarrollo de la presente tesis, en la que se trata el efluente de un Reactor anaerobio manto de lodos de flujo ascendente, tipo Tanque Séptico (UASB - TS), para realizar un tratamiento anaerobio secundario.

## **2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Los filtros anaerobios de flujo ascendente desde ya hace varios años atrás, han sido estudiados con materiales alternativos a la grava, sin embargo estos estudios en su mayoría han sido como tratamientos primarios de efluentes de desagües industriales.

Otras investigaciones han tomado como efluente aguas residuales domésticas para tratamientos secundarios, sin embargo no con el medio de soporte de *Argopecten purpuratus*

El tratamiento anaerobio en un filtro de flujo ascendente es una opción tecnológica que es necesario continuar desarrollando en investigaciones con medios de soportes alternativos de menor costo. Así desarrollar mayor eficiencia de remoción de DBO para el mejoramiento del pulimento de los efluentes de tratamientos anaerobios primarios.

### **2.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Los filtros anaerobios que contienen conchas marinas, podrían ser una alternativa a incluir en el Reglamento Nacional de Edificaciones, debido a su bajo peso específico ( $842 \text{ kg/m}^3$ ) y área específica (aprox  $1210 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) como tratamiento anaerobio de las aguas residuales provenientes de un reactor UASB, tipo tanque séptico en comparación con la piedra chancada.

### 2.1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La concha marina al ser utilizada como medio de soporte permitirá la generación de biofilm, que convertirá la materia orgánica presente en el agua residual. Así mismo, por su composición puede llegar a ser fuente de alcalinidad. Esta tecnología, de resultar satisfactoria podría ser factible de aplicar en las zonas periurbanas de las ciudades costeras. Donde hay difícil acceso a sistemas de saneamiento convencionales, se construirían filtros anaerobios de flujo ascendente con medio de soporte de *Argopecten purpuratus*, familiares o comunales.

### 2.2. OBJETIVO PRINCIPAL

Comparar la eficiencia de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Volátiles entre dos Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente utilizando respectivamente piedras chancadas y *Argopecten purpuratus* conocida como conchas de abanico, como materiales de soporte.

### 2.3. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Analizar la relación entre los parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, conductividad y turbiedad) en los efluentes de los FAFA.
- Determinar y comparar la eficiencia de remoción en turbiedad.
- Determinar y comparar la eficiencia de remoción de la Carga Orgánica
- Evaluar el peso de biofilm adherido en la superficie del material de soporte de ambos FAFA.
- Observar el comportamiento de las *Argopecten purpuratus* inmersas en una muestra de agua potable y de aguas residuales provenientes de efluente del desarenador
- Evaluar el comportamiento hidráulico de los FAFA.
- Evaluar los sólidos sedimentables que genera el efluente de los FAFA.

## **2.4. HIPÓTESIS**

La eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con medio de soporte de *Argopecten purpuratus* es mayor en 25% que la eficiencia de remoción en el filtro con medio de soporte de Piedra Chancada.

## **2.5. VARIABLES DE ESTUDIO**

Las variables consideradas para comparar la eficiencia de los FAFA, mediante parámetros convencionales, se tipifican según lo siguiente:

### **2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES**

Implican aquellas características que son afectadas por efecto de las Variables Independientes. Para la investigación se consideraron las siguientes Variables Dependientes: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV) del afluente y los efluentes de los filtros.

### **2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES**

Implican aquellas características que al ser modificadas generan efecto en las Variables Dependientes. Para la investigación se consideraron las siguientes Variables Independientes:

- Calidad Físicoquímica del Afluente provenientes del Tanque Séptico tipo UASB, del Desarenador y del Efluente de Camal.
- Tiempo de Retención Hidráulica.
- Porosidad del medio de soporte.

### **2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES**

Implican aquellas características o propiedades que de algún modo afectan en el resultado planteado en la hipótesis y se vinculan con las variables dependientes e independientes.

- Temperatura Ambiental.

#### **2.5.4. PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESOS**

Implican aquellos indicadores de contaminación de agua residual considerados para la metodología de monitoreo de la eficiencia de los Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente de Piedra Chancada y *Argopecten purpuratus* usados como medios de soporte.

- Conductividad.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- pH.
- Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).
- Temperatura ambiental.
- Temperatura del efluente y afluente.
- Turbiedad.

#### **2.6. MARCO LEGAL**

##### **2.6.1. ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ**

A continuación se indican los principales documentos legales emitidos por el gobierno peruano. (Ver Anexo N° 1).

- A. Ley General de la Salud: Ley N° 26842
- B. Ley General el Ambiente: Ley N° 28611
- C. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua: Decreto supremo N° 004-2017 MINAM.
- D. Límites máximo permisibles para los efluentes de PTAR doméstica o municipales: Decreto supremo N° 003-2010 MINAM.

### **3. CAPÍTULO III.**

#### **MARCO TEÓRICO**

##### **3.1. PROCESOS DE TRATAMIENTO**

Según Metcalf & Eddy (2003) se utilizan 4 términos para clasificar los procesos de tratamiento y se describen a continuación.

###### **3.1.1. PROCESOS DE CRECIMIENTO SUSPENDIDO**

Procesos de tratamiento biológico, en los que los microorganismos responsables para la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes a gases y tejido celular en las aguas residuales, se mantienen en suspensión dentro del líquido.

###### **3.1.2. PROCESOS DE CRECIMIENTO ADHERIDO**

Procesos de tratamiento biológico, en los que los microorganismos responsables para la conversión de la materia orgánica o otros constituyentes a gases y tejido celular en las aguas residuales, están adheridos a algún medio inerte, tal como rocas, escorias, o materiales de plásticos y cerámicos diseñados especialmente. Los procesos de tratamiento de crecimiento adherido son conocidos también como proceso de película fija.

###### **3.1.3. PROCESOS COMBINADOS**

Término usado para describir procesos combinados (ejemplo: procesos combinados de crecimiento suspendidos y adheridos).

###### **3.1.4. PROCESOS DE LAGUNAJE**

Término genérico aplicado a los procesos de tratamiento que tienen lugar en estanques o lagunas con aspectos diferentes en proporción y profundidad.

El proceso de tratamiento que se investigó corresponde a un proceso de crecimiento combinado.

### 3.2. FILTROS ANAEROBIOS

Son reactores que en su interior disponen de un medio de soporte (lecho), con flujo ascendente o descendente y régimen de flujo básico de tipo pistón. (Torres et al., 2003). En este tipo de reactor, la remoción de la materia orgánica ocurre a lo largo de toda la altura del medio de soporte; por tal razón, (Young, 2000) recomienda que deben ser construidos preferiblemente con alturas superiores a 2.5m. En el tratamiento de efluentes más diluidos, la remoción de materia orgánica ocurre principalmente en la parte inferior del filtro anaerobio, pudiéndose usar alturas más reducidas de medio de soporte (Chernicharo, 1996).

### 3.3. FILTROS ANAEROBIOS DE FLUJO ASCENDENTE

En este tipo de filtro la biomasa está fijada o adherida (biofilm) en las paredes del mismo filtro, en el material de soporte y en forma flóculos en suspensión.

Se le llama filtro anaerobio porque en él ocurre el tratamiento anaerobio propiamente dicho, y se le define como los procesos de la digestión anaerobia para la estabilización del desagüe. Este tratamiento dependerá de sus constituyentes que pueda presentar (ver Tabla 3.1).

**Tabla 3.1** Clasificación de los principales constituyentes que pueden encontrarse en el agua residual

Tipo de Constituyente	Descripción
Convencional	Sólidos totales suspendidos, Sólidos coloidales, DBO, DQO, Carbono Orgánico Total, Amoniac, Nitratos, Nitritos, Nitrógeno total, Fósforo, Bacterias, Quistes de Protozarios y Ooquistes, Virus
No convencional	Organismos refractarios o termoresistentes, Compuestos volátiles orgánicos, Sustancias surfactantes, Metales, Sólidos totales disueltos
Pueden aparecer	Drogas prescritas y no prescritas, productos del cuidado hogar, antibióticos veterinarios y humanos, productos industriales y domésticos, hormonas y esteroides, disruptores endocrinos

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

La degradación de la materia orgánica por procesos anaerobios implica la participación de bacterias pertenecientes a tres grupos tróficos. Estos grupos llevan a cabo procesos diferentes de digestión anaerobia que se muestran en la tabla 3.2.

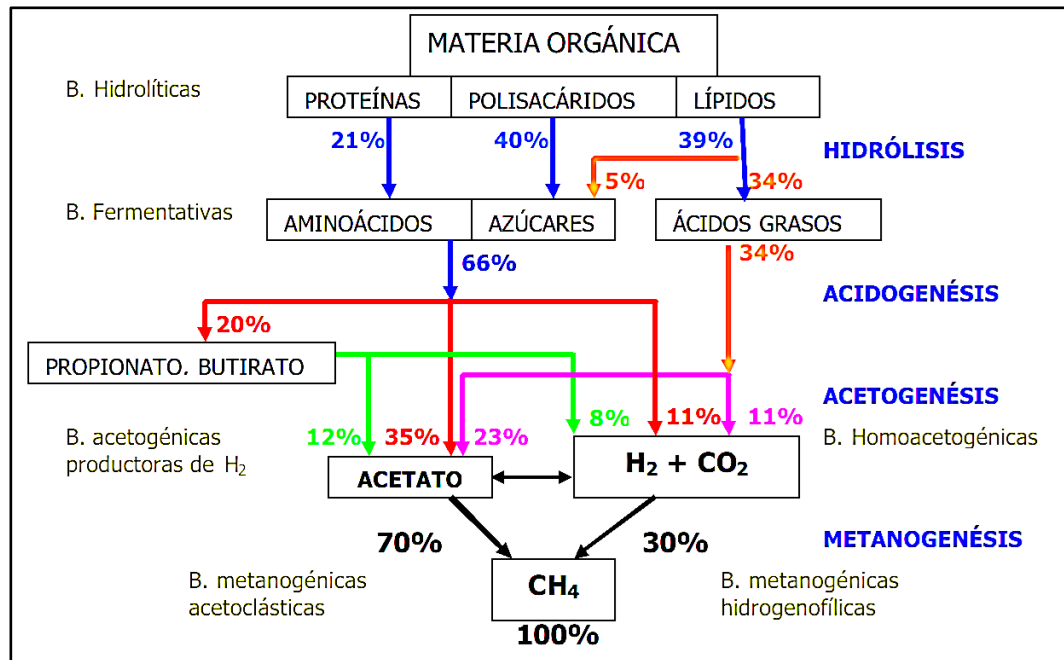
**Tabla 3.2** Procesos de Digestión Anaerobia

Grupo	Bacterias	Proceso	Descripción del Proceso
I	Hidrolíticas	Hidrólisis	Hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular
	Fermentativas	Acidogénesis	Se genera ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así compuestos reducidos como el etanol, además de H <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> .
II	Acetogénicas	Acetogénesis	Se convierte a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias productoras de hidrógeno”.
III	Metanogénicas	Metanogénesis	Convierten el acetato a metano y CO <sub>2</sub> , o reducen el CO <sub>2</sub> a metano. Estas transformaciones involucran dos grupos metanogénicos que son los encargados de llevar a cabo las transformaciones mencionadas anteriormente: acetotróficas e hidrogenotróficas. En menor proporción, compuestos como el metanol, las metilaminas y el ácido fórmico pueden también ser usados como sustratos del grupo metanogénico

*Fuente: Rodriguez, 2005*

En la figura 3.1 se muestra el esquema de las etapas de la digestión anaerobia según la cual se señala que aproximadamente solo el 30% de la materia orgánica afluente es transformada en metano por medio hidrogenogílico, es por eso que la actividad metanogénica acetoclástica requiere desarrollar eficiencia de manera que se obtenga una remoción óptima de la materia orgánica.





**Figura 3.1** Etapas en la Digestión Anaerobia.

*Fuente: Rodríguez. 2005*

La fermentación ácida tiende a bajar el pH, debido a la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) y otros productos intermedarios, mientras que la metanogénesis solo se desarrolla cuando el pH está cercano al neutro. Por lo tanto, si por alguna razón la tasa de remoción de AGV a través de la metanogénesis no acompaña a la tasa de producción de AGV, puede surgir una situación de inestabilidad: baja significativamente el pH del sistema, causando la inhibición de las bacterias metanogénicas.

Esta "Acidificación" del sistema es una de las principales causas de falla operacional en los reactores anaerobios. Lo anterior puede ser evitado cuando se garantiza un equilibrio entre la fermentación ácida y la fermentación metanogénica, a través de mantener una alta capacidad metanogénica y una buena capacidad buffer en el sistema (van Haandel & Lettinga, 1994). Las ventajas y desventajas de los procesos anaeróbicos se pueden visualizar en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Ventajas y Desventajas de las Alternativas de Tratamiento por medio de Procesos Anaerobios

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mínimo requerimiento de terreno</li> <li>- Baja energía de consumo, cuando la planta está ubicada en una cota inferior pues no se requiere en ese caso estaciones de bombeo para elevar el afluente, significando menores costos operacionales</li> <li>- Producción de metano, gas combustible altamente energético</li> <li>- Posibilidad de la preservación de la biomasa, sin alimentación del reactor, por muchos meses</li> <li>- Tolerancia a altas cargas orgánicas</li> <li>- Aplicación a pequeña y gran escala</li> <li>- Consumo bajo de nutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los microorganismos anaerobios son susceptibles a ser inhibidos por una gran cantidad de compuestos</li> <li>- Los procesos de arranque pueden ser lentos en la ausencia de inóculo adecuado</li> <li>- Algún tipo de postratamiento es usualmente necesario</li> <li>- La bioquímica y microbiología de la digestión anaerobia es compleja y aún requiere ser estudiada</li> <li>- Posible generación de gases odorantes, aunque pueden ser controlables</li> <li>- Posible generación de efluentes con desagradable aspecto</li> <li>- Insatisfactoria remoción de nitrógeno, fósforo y patógenos</li> </ul>

*Fuente: von Sperling & Chernicharo, 1995*

### 3.4. MEDIOS DE SOPORTE

El uso de medio de soporte en los reactores biológicos permite la retención de sólidos al interior del mismo, a través de la capa biofilm formado en su superficie y, principalmente, en los intersticios del lecho. Este material generalmente ocupa entre 50% a 70% de la altura total del reactor (Torres et al., 2003).

Las principales finalidades del medio de soporte (Torres et al., 2003), son:

- Mejorar el contacto entre el sustrato y los sólidos biológicos contenidos en el reactor.
- Facilitar un flujo uniforme en el reactor.
- Permitir la acumulación de gran cantidad de biomasa.

- Actuar como una barrera física, evitando que los sólidos sean arrastrados por fuera del sistema de tratamiento.
- Actuar como un dispositivo para separar los sólidos de los gases.

Los medios de soporte se han clasificado en:

- **Soporte minerales:**

Entre los tipos de medios más utilizados se encuentran la piedra triturada angulosa o redonda (grava) sin finos, de tamaño entre 4cm a 7cm (Paredes et al., 2006), el coque metalúrgico, las escorias de altos hornos se ha utilizado con éxito, empaques minerales. También se ha tenido éxito en la utilización de materiales más baratos, como los escombros o ladrillos rotos; sin embargo, tienden a demorarse después de cierto tiempo de manera que el lecho se bloquea con el medio desintegrado (Winkler, 1999).

- **Soportes plásticos:**

También se pueden usar medios más sofisticados como los anillos sintéticos, las matrices plásticas de flujo cruzado o tubular, que aunque más eficientes resultan ser más costosas (Paredes et al., 2006).

- **Soportes orgánicos:**

Otras alternativas que han sido estudiadas como medio de soporte, ha sido los no convencionales, entre las que se destacan, la guadua, la cáscara de coco, tejas de barro, el bambú (Paredes et al., 2002). Los principales requisitos de los medios de soporte se indican en la tabla 3.4

### **A) Ventajas y Limitaciones.**

La presencia de material de soporte en el filtro anaerobio, ayuda a retener efectivamente el lodo activo, lo que contribuye a mejorar la eficiencia del sistema en términos de remoción de DQO y SST. Además de retener en su interior gran cantidad de sólidos biológicos, el sistema tiene gran capacidad de superar choques de carga y reponerse satisfactoriamente ante la exposición moderada a agentes tóxicos o inhibitorios.

**Tabla 3.4** Requisitos de medios de soporte en filtros anaerobios.

Requisito	Objetivo
Ser estructuralmente resistente	Soportar el propio peso, adicionado al peso de los sólidos biológicos adheridos a su superficie.
Ser biológica y químicamente inerte.	Evitar reacción entre el lecho y los microorganismos.
Ser suficientemente liviano.	Evitar la necesidad de estructuras complejas, así como permitir la construcción de filtros más altos para reducir áreas de tratamiento.
Poseer superficie específica y porosidad elevadas.	Permitir la adherencia de microorganismos y reducir la posibilidad de colmatación.
Permitir la rápida proliferación de microorganismos	Disminuir el tiempo de arranque del reactor.
No presentar superficie lisa	Garantizar una porosidad elevada
Precio reducido	Viabilizar económicamente el proceso

*Fuente: Pinto & Chernicharo, 1996*

Otra de sus ventajas, es la inmejorable respuesta del medio biológico ante las condiciones de parada del reactor por periodos largos de tiempo. Esta capacidad natural de superación del sistema, se debe a que únicamente se destruyen los microorganismos de las capas más exteriores, recobrándose inmediatamente con los que se encuentran latentes en las capas más interiores; por consiguiente, no requiere del vaciado inmediato y nueva puesta en marcha de la instalación, como ocurre en otros sistemas (Córdoba & Salas, 1996).

Algunas de las limitaciones del filtro anaerobio son: formación de cortocircuitos causados por la generación de líneas preferenciales de flujo a través del medio de soporte; dependiendo del tipo de material de soporte, una pequeña o muy grande fracción de volumen del reactor se pierde debido al volumen de la biomasa retenida; si el agua residual a tratar tiene una alta concentración de sólidos suspendidos, el medio de soporte se colmata rápidamente; debido a la resistencia que ofrece el soporte al paso del agua residual, sólo una parte de la biomasa retenida, está realmente en contacto con el desecho; los costos de inversión inicial pueden ser significativamente más altos en comparación con otros procesos anaerobios debido a la adquisición del material de soporte (Torres et al., 2003).

## B) Concha Marina

La composición química de la concha marina, tiene una matriz orgánica de naturaleza fundamentalmente proteínica (conquiolina) que contiene una gran cantidad de aminoácidos y algunos aminoazúcares y un depósito inorgánico de cristales de sales como carbonato de calcio y carbonatos, fosfatos y silicatos de magnesio, siendo la primera la más abundante (Barnes & Ruppert, 1996). Esta estructura química puede ser una fuente de alcalinidad y de macro y micronutrientes para el medio biológico, que hace que su adaptación, adhesión y proliferación, conviertan a la concha marina como el medio más eficiente. (Cárdenas & Ramos, 2008).

Otros investigadores han observado la composición de otras conchas marinas con la finalidad de aprovechar sus características mecánicas y químicas para la construcción. Es el caso que los investigadores GL Yoon et al., (2003) que usando fluorescencia de rayos X, pueden determinar la composición de la concha de ostra, como se muestra en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Composición química de la concha de ostra.

Composición química (%)								
CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SrO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Total
95.994	0.696	0.649	0.419	0.33	0.204	0.984	0.724	100.0

Fuente: Yoon et al, 2002

También la investigación de Paz et al. (2005) sobre la obtención de carbonato de calcio de conchas de piangua estimó el contenido de 83.4% en carbonato de calcio (aragonita, varetita y calcita).

Las especies que se consumen en nuestro país se distribuyen en grandes extensiones a lo largo de las costas continentales, tales como:

- **Choro (*Choromytilus chorus* Molina, 1782)**

Se distribuye desde Ecuador al Estrecho de Magallanes, siguiendo hacia el norte por el Atlántico hasta Santa Cruz (Argentina). Su distribución batimétrica, va desde el sector rocoso del intermareal hasta los 10m de profundidad (Osorio, 1979).



**Fotografía 3.1** *Choromytilus chorus* (Choro).

Fuente: Trausel & Sliker, 1987.

- **Chorito (*Mytilus chilensis* Hupe, 1854)**

Se distribuye desde Callao al Estrecho de Magallanes, y canal Beagle (Chile), extendiendo su área de dispersión hasta el sur de Brasil, incluyendo también las islas Malvinas. Su distribución batimétrica, va desde el sector rocoso del intermareal hasta los 10m de profundidad (Osorio, 1979).

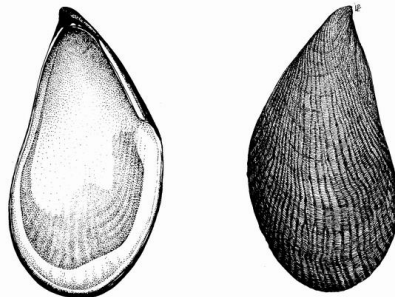


**Fotografía 3.2** *Mytilus chilensis* (Chorito).

Fuente: Guajardo, 2005.

- **Cholga (*Aulacomya ater* Molina, 1782)**

Se distribuye por el Pacífico, desde Callao hasta el Canal Beagle, islas Navarino e ista Picton (Chile), continuando hasta el norte por la costa Atlántica hasta el sur de Brasil. Su distribución batimétrica, va desde el sector rocoso del intermareal hasta los 10m de profundidad (Osorio, 1979).

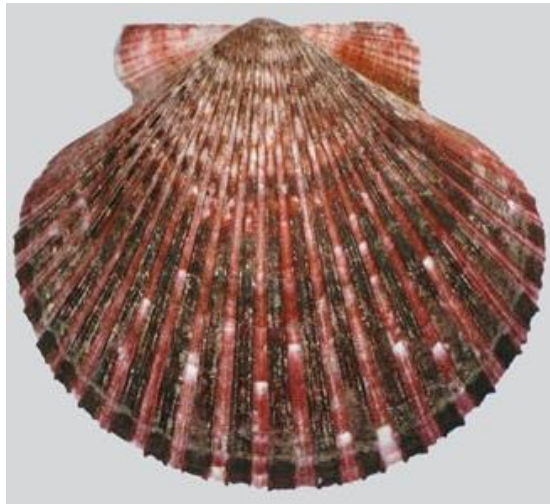


**Fotografía 3.3** *Aulacomya ater* (Cholga).

Fuente: Molina, 1782.

- ***Argopecten purpuratus*, Lamarck 1819**

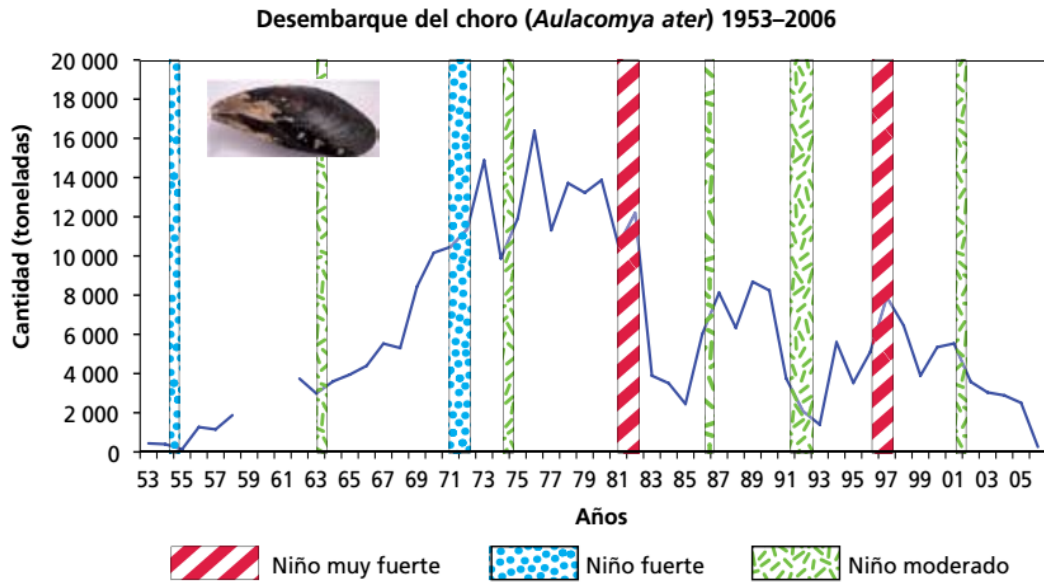
Este molusco posee una amplia distribución en el Pacífico Sudeste, desde Paíta en Piura hasta Coquimbo, Chile (Alamo & Valdivieso, 1997), habitando en la franja infralitoral sobre sustratos arenosos, areno-fangosos y de conchuela hasta una profundidad de 40m. Esta especie es de gran importancia económica en la costa peruana, por su alta demanda y excelente precio en el mercado internacional (Francia, Holanda y Estados Unidos de América) cuyas producciones son destinadas principalmente a la exportación. (Cavero & Rodríguez, 2008).



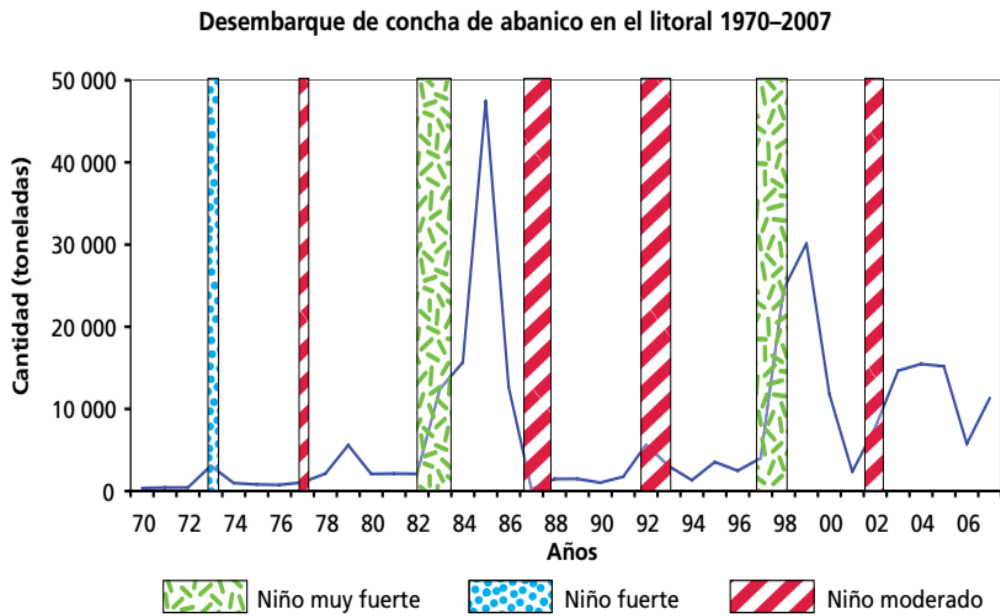
**Fotografía 3.4** *Argopecten purpuratus*  
Fuente: Trausel & Slieker, 1987

Los desembarques de las especies asociadas a la presencia del fenómeno El Niño se muestran en los Gráficos 3.1 y 3.2.

En el Gráfico 3.3 se muestra el incremento significativo de la cosecha de *Argopecten purpuratus* en la década comprendida desde 1996 al 2006. Así mismo existen en varios puntos de la costa peruana, bancos de este recurso, los cuales se indican en la Fotografía 3.5



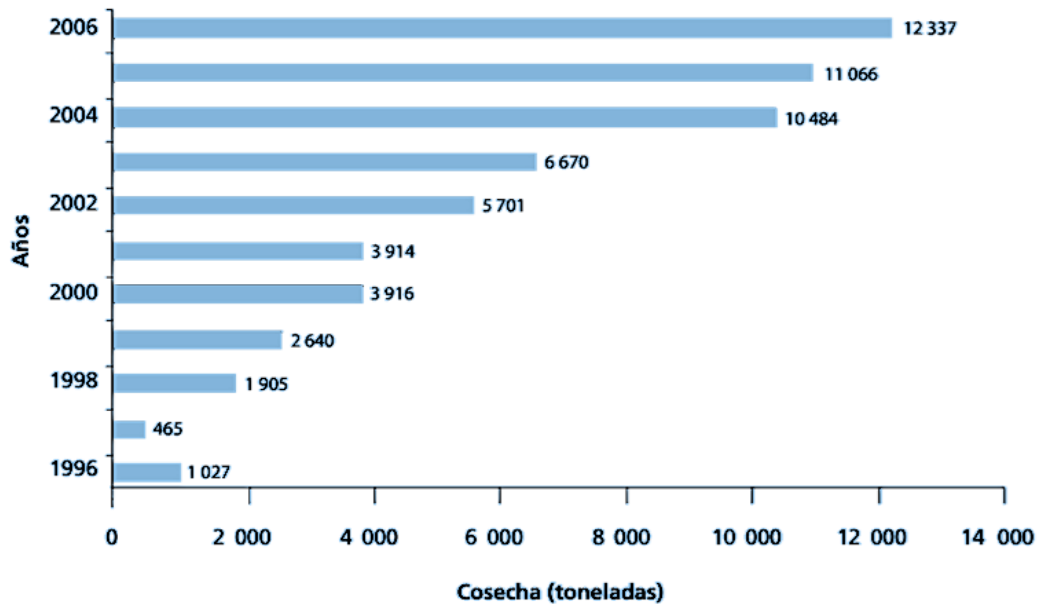
**Gráfico 3.1** Desembarque del *Aulacomya ater* (1953–2006).  
Fuente: Cavero & Rodríguez, 2008.



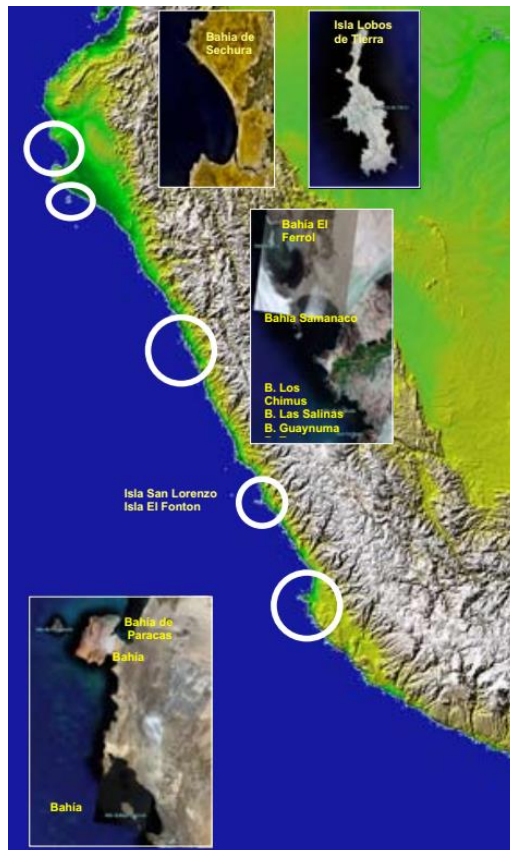
**Gráfico 3.2** Desembarque del *Argopecten purpuratus* en el litoral (1970–2007).  
Fuente: Cavero & Rodríguez, 2008.



**Cosecha del recurso concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en Perú, 1996–2006**



**Gráfico 3.3** Cosecha del recurso *Argopecten purpuratus* en Perú (1996–2006)  
Fuente: Cavero & Rodríguez, 2008.



**Fotografía 3.5** Bancos significativos de *Argopecten purpuratus* en la costa  
Fuente: Mendo et al., 2008.

Si bien la producción es importante ya que genera crecimiento económico y empleabilidad, no obstante los residuos sólidos que deja tras su producción y consumo generan impacto ambiental negativo, pues es fuente de proliferación de vectores en los terminales pesqueros de las ciudades, mercados, botaderos y domicilios.

Por ello, hay existen diversas maneras de reutilizar estos residuos. Desde accesorios ornamentales, hasta agregados finos para la construcción (Saavedra, 2016) y obtención de carbonato de calcio (Guevara & Castro, 2018).

Por las características que presenta y la importancia ambiental que en conllevaría la reutilización como medio de soporte, se ha utilizado este recurso en la presente investigación.

## 4. CAPÍTULO IV.

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se debe considerar que en este proyecto el afluente que se usó en un inicio provenía de Tanque Séptico tipo UASB, sin embargo al no contar con carga orgánica recomendada para el tratamiento se decidió cambiar a un afluente con mayor carga, y luego a un afluente industrial.

#### 4.1. AFLUENTE

Las tres etapas que se determinaron para el desarrollo del trabajo experimental fue consecuencia de los cambios de afluente:

##### a. Primera etapa

Los filtros anaerobios realizaron el tratamiento secundario del efluente del tanque séptico tipo UASB ubicado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de CITRAR-UNI. El afluente que entra en la PTAR por medio de la captación es transportada hacia el pre-tratamiento el cual está constituido por una cámara de rejillas gruesas y finas, pasa a continuación por el desarenador y luego es derivado un caudal hacia la unidad de Tanque séptico tipo UASB.

##### b. Segunda etapa

En esta etapa los filtros anaerobios realizaron el tratamiento primario del efluente del desarenador.

##### c. Tercera etapa

En la última etapa se hizo el tratamiento primario a muestra diluida de sangre y sedimentada de Frigorífico Camal La Colonial

#### 4.2. UBICACIÓN DEL SISTEMA

Los filtros anaerobios de flujo ascendente fueron instalados en la zona de tesis N° 2 del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos CITRAR-UNI, el cual se encuentra localizado en el Distrito del Rimac del Departamento de Lima.

Zona UTM: 18 L

Coordenada Este: 276850.00 m E

Coordenada Norte: 8671366.00 m S

#### **4.3. REACTORES**

Se utilizaron 2 reactores de policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U) de 20 cm de diámetro y de 2.13 m de altura.

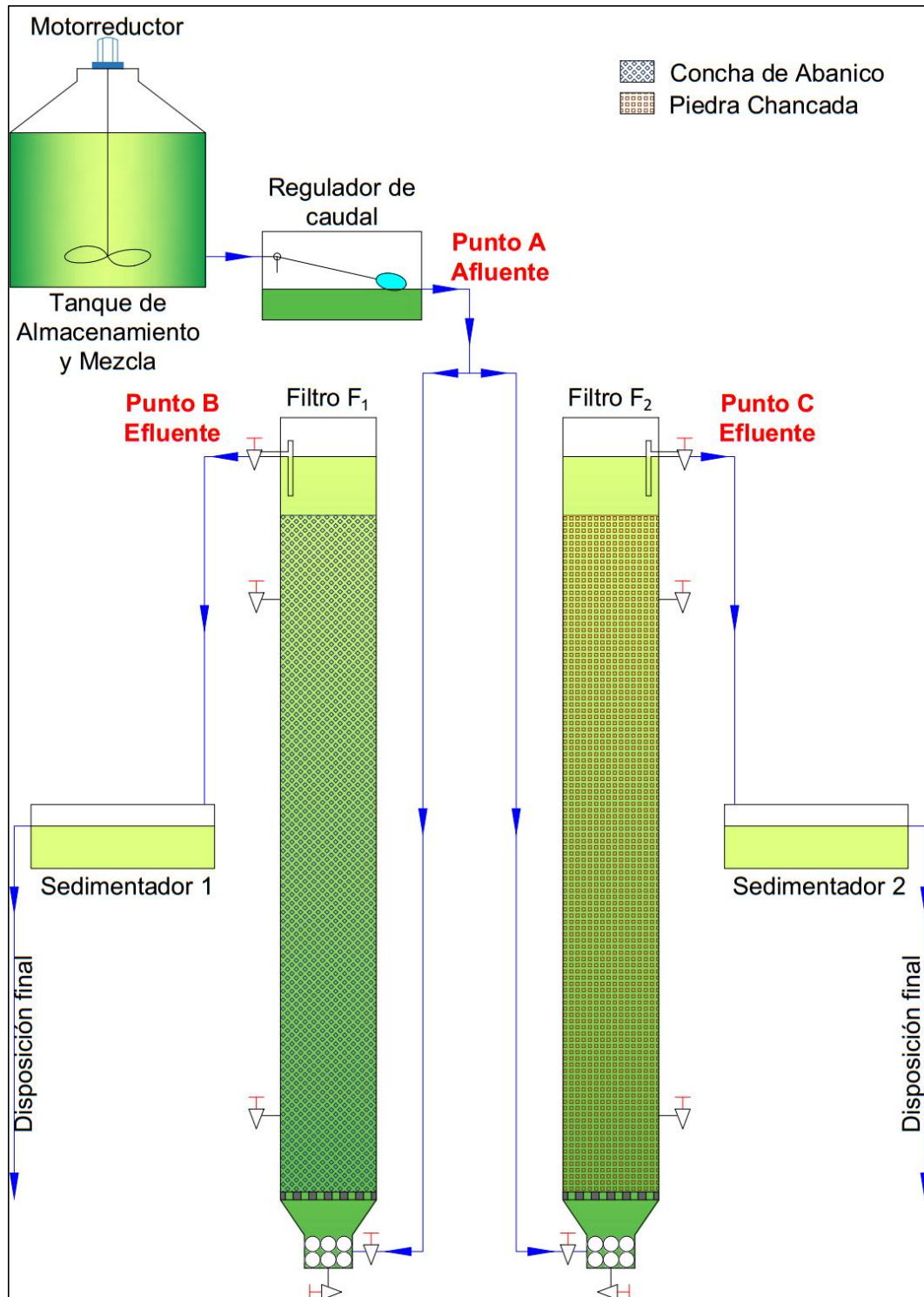
#### **4.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA**

El tratamiento secundario consistió en dos filtros anaerobios dispuestos en paralelo, cuyos efluentes fueron comparados tras analizar los parámetros mencionados en el capítulo 2.

Se instaló un tanque de almacenamiento y mezcla con el afluente en estudio. El cual pasó por una galonera adaptada con un sistema de rebose para mantener una altura y caudal constante. Por un sistema de válvulas y mangueras que regulan el ingreso a los filtros anaerobios, inicia el tratamiento secundario. A continuación sus efluentes llegan a los sedimentadores para luego direccionarlo a su disposición final, tal como se visualiza en las Figura 4.1 y 4.2

El flujo fue vertical y ascendente, el sistema de válvulas y la altura que se dispuso para el efluente del tanque permitió darle un caudal el cual permitía vencer la pérdida de carga y la altura de la cota de salida, ajustando el caudal de diseño.

El sistema de bombeo, fue conformado por una bomba sumergible mangueras y válvulas de distribución. Se bombeó el fluido desde la caja de derivación del efluente del tanque séptico tipo UASB ubicada al lado del lecho de secado de lodos, hasta el tanque de almacenamiento y mezcla, en la zona de tesis 2, ubicada cerca del límite sureste de la planta.



**Figura 4.1** Diagrama Esquemático del Sistema de Filtro Ascendente. Se indica los puntos de muestreo A, B y C

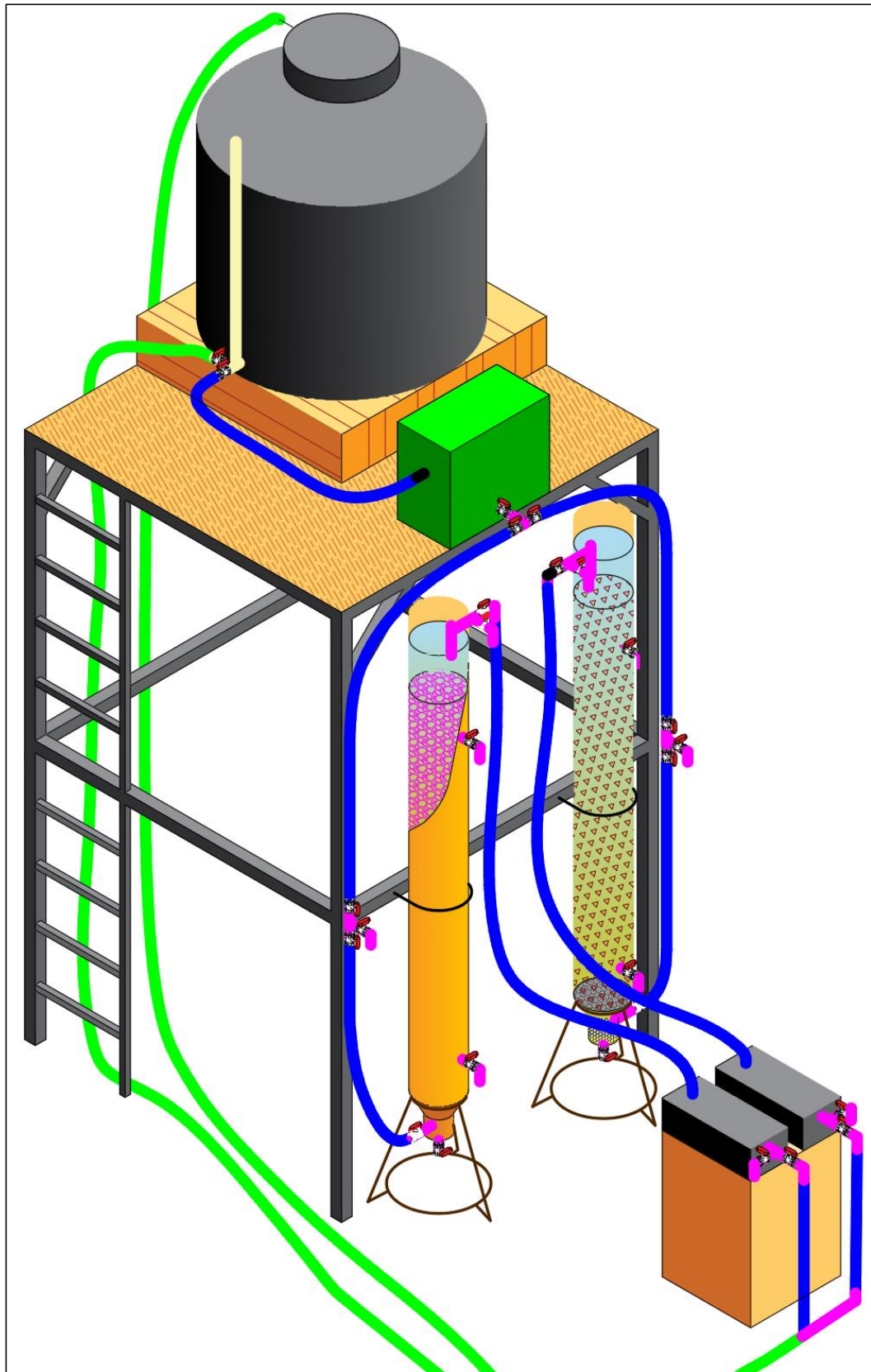


Figura 4.2 Esquema Isométrico del Sistema de Filtros Anaerobios

El bombeo se realizó durante aproximadamente 1 hora: 40 minutos para poner en funcionamiento el bombeo del tanque séptico tipo UASB y 20 minutos para el bombeo hacia el tanque de almacenamiento y mezcla, tiempo en el cual lograba llenarse con el volumen necesario para 24 horas de distribución a los filtros.

El sistema de mezclado estaba conformado por paletas de PVC adosadas a un eje de tubería CPVC de ½" el cual se adaptó para unirlo al eje del motor-reductor que se alimentaba por medio de un transformador y una caja de llaves eléctricas que contenía un sistema de llave general – contactor – timer – tomacorriente, que le daba una operación intermitente de 15 min de funcionamiento y 15 min de parada.

En la zona de tesis 2 se preparó una losa de concreto de 3 m de ancho por 4 m de largo, en el cual se instaló la estructura de metal de 1.50 m x 1.50 m x 2.50 m de altura y un techado construido con madera y calaminas galvanizadas. Sobre el soporte se colocó bases de madera para colocar el tanque de almacenamiento y mezcla con la galonera los cuales se conectaron por medio de válvulas de PVC de ½" y un tubo de abasto de ½". En la galonera se adaptó una boya de sistema de rebose para que regule el caudal logrando así una altura constante.

Por medio de tees, juego de válvulas y adaptadores de PVC y mangueras con abrazaderas metálicas, el flujo fue direccionado hacia la parte lateral-inferior del filtro.

El filtro conformado por tuberías de PVC-U de 8" se ensambló con una reducción en la parte inferior de tal modo que esta funcionó, junto con una plancha de acero inoxidable agujereada, como base del medio de soporte. Entre la base del medio de soporte y la base de la reducción se colocaron canicas de tal manera que posibilite una distribución más uniforme del caudal.

En la parte superior del filtro se colocó una tubería de PVC de ½" con agujeros y un tapón para recolectar el efluente hacia un juego de válvulas exterior de donde se tomaba la muestra.

Se implementaron válvulas laterales para el vaciado final o posible traslado de los filtros sin que haya cambio brusco de flujo y el consecuente barrido del biofilm adherido al medio de soporte. Así mismo en el tapón inferior de la reducción para la purga de lodos.

En una soportaría de fierro corrugado fabricado especialmente se colocaron los filtros adosándolos a la estructura metálica con abrazaderas.

Se realizó la limpieza del medio de soporte procurando retirar todo el material visceral restante en el caso de *Argopecten purpuratus*, y toda la tierra y barro en el caso de las piedras chancadas. El medio de soporte de *Argopecten purpuratus* de ancho aproximado de 6cm en promedio y las piedras chancadas de diámetro entre ½" y ¾", fueron zarandeadas una vez que se iban colocando en el filtro, para así lograr una mejor distribución del material..

Finalmente se instaló dos tapers de plástico que se adaptaron para que funcione como sedimentador para analizar los sólidos sedimentables el efluente.

Se llevaron a cabo las pruebas de estanqueidad con agua potable por un tiempo de 24 horas. Se presentó un drenado muy fino en las perforaciones laterales de la reducción en donde sus paredes tienen un menor radio de curvatura lo que hace que el sello de la empaquetadura no sea lo suficientemente hermético. Se solucionó aplicando cemento instantáneo y un sellador. Una vez que se verificó y garantizó la estanqueidad, se forró exteriormente los filtros con plástico de color negro para evitar que la posible filtración de luz solar y la consecuente crecimiento de algas y bacterias aerobias.



Se instaló un Termohigrómetro digital para medir la temperatura ambiental y también la humedad relativa. Estuvo colocado entre los dos filtros anaerobios, bajo las maderas que sirven de base para la galonera de distribución de manera que esté protegida de los rayos solares y de la llovizna y también de objetos que son constantemente lanzados desde la Av. El Milagro hacia el interior de la Planta, lo cual se presume que lo realizan los peatones.

Para el aforo de caudales se utilizó una probeta de 100ml y un cronómetro. En un inicio se realizó el diseño para un caudal de 1.33 mL/s el cual se fue modificando para evitar obstrucciones frecuentes y el arrastre del biofilm en formación.

#### **4.5. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA**

Los materiales que se utilizaron fueron:

##### **➤ SISTEMA DE IMPULSION**

- 01 Bomba de impulsión
- Manguera reforzada de PVC 1" y 3/4"
- 04 válvulas de PVC 1/2"
- Adaptadores de PVC para mangueras
- Cinta teflón
- Abrazaderas.
- Niples de PVC de 1/2"

##### **➤ SISTEMA DE MEZCLADO Y ALMACENAMIENTO**

- Moto-reductor y transformador
- Cinta Aislante
- Cable eléctrico
- Tubería para cables.
- Válvulas de PVC 1/2"
- Tees de PVC 1/2"
- Manguera flexible

- 01 Tanque de Agua de 600 L
- 01 Estructuras metálica de soporte
- Caja empotrada de protección para transformador
- Caja de llaves eléctricas
- Llave temomagnética
- Contactor
- Timer
- Tomacorriente

➤ **SISTEMA DE TRATAMIENTO**

- Valvas de *Argopecten purpuratus*
- Piedra Chancada ½"–¾"
- Tubería de 8" x 6m
- 02 Bases de soporte de fierro corrugado para los filtros
- 02 abrazaderas para los tubos de 8"
- 02 Círculos de acero inoxidable 8" con agujeros redondos.
- Cinta teflón 1/2"
- Roscas de bronce y empaquetaduras de jebe
- Niples roscados de PVC ½"
- Adaptador PVC
- Plástico negro grueso de 3m de ancho
- Pegamento para PVC
- Cinta aislante
- Adhesivo cinta moldeable.
- Adhesivo sellador de poliuretano

➤ **SISTEMA DE SEDIMENTACION Y DISPOSICIÓN**

- 02 Taper de 10 Litros
- Adaptador PVC
- Mangueras
- 04 válvulas de PVC ½"
- 03 Tee de PVC ½"
- 02 niples roscados de PVC ½"
- 01 Codo de PVC ½"

#### 4.6. SELECCIÓN DEL MEDIO DE SOPORTE

Es necesario considerar un medio de soporte liviano, además con una porosidad considerable, ser estructuralmente resistentes, y de precio asequible para considerarlo en proyectos de inversión pública.

Por esta razón se escogieron las valvas de *Argopecten purpuratus* para compararlas con las piedras chancadas. Estas se han estado usando en investigaciones anteriores e inclusive en algunos países consideran esta tecnología en su normativa de tratamiento de desagües. Las *Argopecten purpuratus* están siendo investigadas pero no tan extensivamente como las piedras chancadas u otros materiales de plástico. Considerablemente mayor porosidad y menor peso presenta *Argopecten purpuratus*; además su uso pretende disminuir el impacto ambiental que generaría al desecharlo los residuos de *Argopecten purpuratus* u otras especies de conchas marinas provenientes de terminales pesqueros.

#### 4.7. POROSIDAD

Tanto las *Argopecten purpuratus* como las piedras chancadas, limpiadas y secadas, fueron colocadas en los tubos de 8" en tandas de volúmenes de 4 litros para zarandear el tubo y puedan esparcirse uniformemente. Se reservó una muestra para los análisis iniciales de porosidad en laboratorio. En el laboratorio se realizó el análisis de porosidad, a cual consiste en determinar el porcentaje de volumen de espacios vacíos que queda entre las partículas del material de soporte con respecto al volumen usado del recipiente.

En laboratorio se utilizó un recipiente de vidrio de 2 Litros, se llenó el recipiente con *Argopecten purpuratus* y se fue vertiendo agua hasta llenarlo procurando que no hubiera vacíos de aire. Así mismo se hizo con la piedra chancada. La determinación de la porosidad en laboratorio viene dada por la siguiente relación para cada medio de soporte:

$$\text{Porosidad del medio (\%)} = \frac{\text{Volumen agua (ml)}}{2000 \text{ ml}}$$

En campo se realizó también la experiencia, siguiendo el mismo principio de espacios vacíos. Conociendo el volumen del medio de soporte y conociendo el volumen ingresado de agua, se restó a este el volumen el falso fondo y del borde libre, resultando el volumen de vacíos del filtro.

La determinación de la porosidad en campo viene dada por la siguiente relación para cada medio de soporte:

$$\text{Porosidad del medio (\%)} = \frac{\text{Volumen de vacíos (Litros)}}{\text{Volumen total (Litros)}}$$

#### 4.8. DENSIDAD

La densidad de las *Argopecten purpuratus* como medio de soporte se calculó pesando la cantidad de *Argopecten purpuratus* que ingresaban en determinado volumen.

$$\text{Densidad (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso (Kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

También se logró estimar en campo la cantidad de *Argopecten purpuratus* que entraron en un determinado tramo de tubería, se hizo el prorrato según el peso de las conchas medidas en campo y el peso de determinada cantidad de conchas medidas y contabilizadas en laboratorio.

#### 4.9. AREA SUPERFICIAL

En algunas investigaciones se han considerado este parámetro para comparar con otros materiales de soporte, en otras, para resaltar esta característica que se traduce en mayor adherencia del biofilm en el medio de soporte.

**Bear** menciona la definición de Área Superficial: “El área específica de un material poroso está definido como el área de la superficie intersticial total de los poros por unidad de volumen de partícula del medio poroso.

En la tabla 4.1 se citan los resultados de los cálculos de **Cárdenas & Ramos** basados en la definición de **Bear** del área superficial para gravas de río y conchas marinas. Así también como los resultados de **Galindo et al** presentan que el área media superficial por conchas marinas. En ese caso se realizó la investigación con la especie *Arca zebra*, conocida como choro.

**Tabla 4.1** Comparación entre áreas superficiales de grava de río y concha marina.

Material de Soporte	Unidades	Área Superficial
Grava de río (a)	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	189
Concha Marina (a)	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1210
Concha Marina (b)	cm <sup>2</sup> /concha	25.7

Fuente:

(a): *Cárdenas & Ramos, 2008*

(b): *Galindo et al, 2016*

Así se utilizó un método empírico para calcular el área superficial de las *Argopecten purpuratus*. Se seleccionó 12 valvas de *Argopecten purpuratus* que se reservó previamente, estas fueron de diferentes tamaños de manera que sea una muestra representativa.

Se forraron con papel manteca con el cuidado necesario para no rajarse el papel. Luego se trazó el contorno Tal como se muestra en la fotografía 4.2 aplanando el papel lo más posible.



**Fotografía 4.1** Muestra de 12 *Argopecten purpuratus* para el cálculo de la superficie específica. Caras convexa y cóncava.

*Fuente: Propia.*

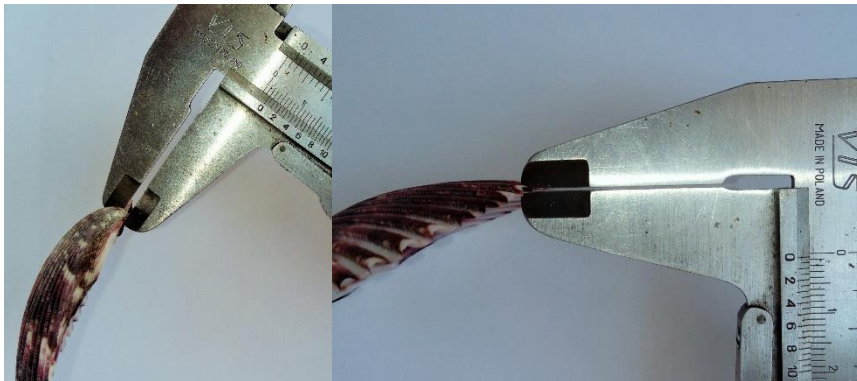


**Fotografía 4.2** *Argopecten purpuratus* forrada con papel manteca.

*Fuente: Propia.*

Se digitalizó el papel manteca para luego trazar el contorno en el programa Autodesk AutoCAD 2018 y se realizó el cálculo del área de las caras convexas.

Se midió con un vernier los grosores para trazar un contorno promedio de las caras cóncavas y así se calculó las áreas en el programa mencionado.



**Fotografía 4.3** Medición del grosor del *Argopecten purpuratus* con vernier.  
Fuente: Propia.

Con el contorno promedio y el grosor promedio se calculó el área promedio del contorno. Sumando esas tres áreas se obtienen las superficies específicas. Se obtiene el promedio y de esta manera se obtiene el área superficial en  $\text{cm}^2$  por valva de *Argopecten purpuratus*.

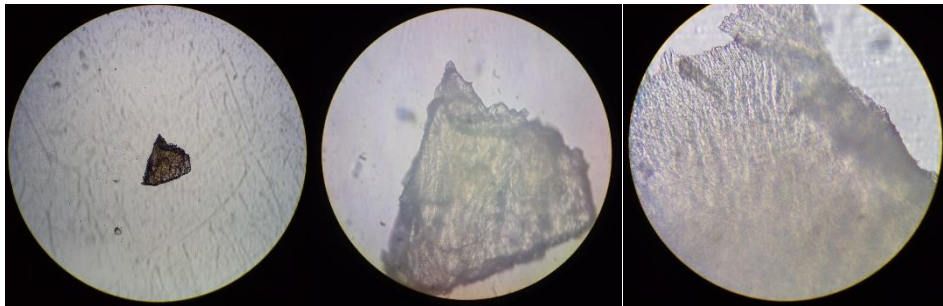
$$\text{Área superficial (cm}^2/\text{Argopecten purpuratus)} = \frac{\sum \text{areas de muestras (cm}^2\text{)}}{\# \text{ de muestras}}$$

Este cálculo es aproximado ya que si se midiera lo observado en la superficie con un microscopio electrónico, se podría calcular el área superficial de manera más exacta debido a las hendiduras microscópicas. Se logró observar en el microscopio óptico de CITRAR tal como se observa en la fotografía 4.4.

Analizando la manera como se calculó la densidad (ver ítem 4.8), se mencionó que se obtuvo la cantidad de *Argopecten purpuratus* por unidad de volumen. Por lo tanto, al multiplicar por el área superficial ( $\text{cm}^2/\text{valva de}$

*Argopecten purpuratus*), se puede calcular el área superficial en  $\text{m}^2/\text{m}^3$  añadiendo un factor de conversión:

$$\text{Area superficial (m}^2/\text{m}^3) = \frac{\# \text{ de muestras}}{\text{Volumen total (m}^3)} \times \frac{\sum \text{ areas de muestras (cm}^2)}{\# \text{ de muestras}} \times 10^{-4}$$



**Fotografía 4.4** Muestra de *Argopecten purpuratus* de 3.5mm de longitud, visto con aumento en 10,40 y 100 veces.  
Fuente: Propia.

#### 4.10. VOLUMEN EFECTIVO

Para el cálculo del volumen efectivo de cada filtro, se determinó primero la porosidad para conocer el porcentaje de volumen de espacios vacíos en un volumen determinado del medio de soporte. Este volumen viene dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen vacíos (litros)} = \text{Porosidad del medio (\%)} \times \text{Volumen total (litros)}$$

A este valor de Volumen de vacíos se le suma el volumen de borde y libre el volumen del falso fondo, siendo la expresión calculada:

$$\text{Vol. efectivo} = \text{Vol. vacíos} + \text{Vol. borde libre} + \text{Vol. falso fondo}$$

En la figura 4.3 se muestra el esquema de volúmenes mencionados.

#### 4.11. CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño fue determinado en 51.24 Litros/día para cada filtro, y un tiempo de retención hidráulico de 23.7 horas y 5.48 horas, para los filtros de *Argopecten purpuratus* y piedra chancada respectivamente.





**Figura 4.3** Esquema de volúmenes dentro de los Filtros.

Para el cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica teórico se utilizó la fórmula:

$$\text{TRH (hora)} = \frac{\text{Volumen efectivo (Litros)}}{\text{Caudal (Litros/hora)}}$$

#### 4.12. DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

Para monitorear la eficiencia y comparar ambos filtros anaerobios de flujo ascendente a escala piloto, se tomaron en consideración los parámetros fisicoquímicos usuales para el caso de la presente investigación. Tres puntos de muestreo principalmente: el primero al ingreso de los reactores, el segundo a la salida del filtro de *Argopecten purpuratus* y el tercero a la salida del filtro de piedra chancada. Denominando a los puntos A, B y C, respectivamente en la Figura 4.1

#### 4.13. PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL

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

- Temperatura ambiental

- Temperatura en el punto de muestreo
- pH
- Turbiedad
- Conductividad
- Sólidos suspendidos volátiles
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

#### **4.14. CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL**

Los parámetros mencionados en el ítem anterior fueron evaluados monitoreando semanalmente en un periodo de 54 semanas. En la tabla 4.2 se muestra la programación de estos análisis realizados.

#### **4.15. PARÁMETROS EVALUADOS**

La tabla 4.3 muestra un resumen de los parámetros medidos con el método que se aplicó en cada uno.

#### **4.16. ETAPAS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Los reactores de la presente investigación, llamados filtros anaerobios de flujo ascendente se les denominaron como Filtro F<sub>1</sub> y Filtro F<sub>2</sub> los cuales contienen piedra chancada y *Argopecten purpuratus* como medio de soporte respectivamente.

##### **a. Primera Etapa:**

Inició el 17 de Mayo de 2017, día en el que se empezó a ingresar desagüe proveniente del efluente del Tanque Séptico tipo UASB (TS-UASB). Se realizó el monitoreo durante 45 semanas. En la semana 6 y 7 se detuvo el monitoreo debido a las obras de construcción en CITRAR por lo que para la seguridad de los tesisistas se restringió el acceso a la Zona 2 de tesis.

En la semana 20 se realizó un cambio de diseño en el recolector de efluente de los filtros, que consistía en un tubo de PVC de ½" con agujeros,

se reemplazó por una tee con un niple de 10 cm de profundidad bajo el nivel de salida tal como se muestra en la figura 4.4

**Tabla 4.2** Monitoreos realizados durante la tesis de investigación

Monitoreos Semanales de Parámetros												
N° de Semana	Caudal Promedio	Temperatura Ambiental	Humedad Relativa	pH	Temperatura	Turbiedad	Conductividad	DBO	Carga Orgánica	SST	SSF	SSV
1-5	X	ND	ND	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
6-7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	X	ND	ND	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
9-11	X	ND	X	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
12-13	X	ND	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND
14	X	ND	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15-16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17-18	X	X	X	X	X	ND	X	X	X	X	X	X
19	X	X	X	X	X	ND	X	ND	ND	ND	ND	ND
20-22	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	X	X	ND	X	X	X	X	X	X
24	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
26	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
27	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
29-32	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
33	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
34-36	X	X	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND
37	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
38	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
39	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
41-43	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
44	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	X	X	X
45-50	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
51	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
52-53	X	X	X	X	X	X	X	ND	ND	ND	ND	ND
54	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**(X): Se realizó el monitoreo**

**(ND): No se realizó el monitoreo**

Fuente: Elaboración propia

Semana 01 (17 Mayo – 19 Mayo 2017)

Semana 54 (21 Mayo – 25 Mayo 2018)

Durante algunas semanas se presentaron cortes inesperados de energía en la zona por parte de la empresa prestadora de servicio, otros cortes a causa de la construcción en CITRAR y otros debido a nuevas conexiones

por parte de nuevos tesisistas. Por lo que se interrumpía la mezcla en el tanque de almacenamiento y la muestra no era representativa. Es por ello que no se realizó en esas ocasiones los análisis de sólidos suspendidos volátiles ni tampoco DBO.

Desde la semana 29 hasta la 33 el laboratorio N° 20 estuvo cerrado por lo que no se realizó los análisis correspondientes. Durante la semana 39 se hizo el traslado de los filtros hacia otro punto de la zona de tesis 2, debido a trabajos de construcción por lo que se tuvo que vaciar el volumen contenido para tal fin, reservando el volumen del líquido para volver a llenarlo. La semana 40, por el examen de admisión el acceso es restringido por lo que no se realizó los monitoreos pero si el mantenimiento usual.

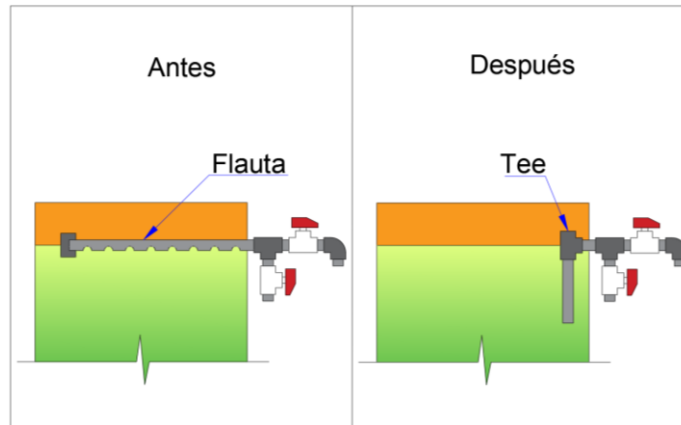
**b. Segunda Etapa:**

La semana 46 se cambió el afluente, de lo que se hacía ingresar el efluente del TS-UASB a partir de esa semana empezó a utilizarse el efluente del desarenador por lo que también se considera un cambio considerable determinando la segunda etapa.

**Tabla 4.3** Método de medición de parámetros fisicoquímicos.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>MÉTODO EMPLEADO</b>
PH	APHA, AWWA, WEF 4500-H+B: 1998; 20th Ed. Método electrométrico.
Temperatura	APHA, AWWA, WEF 4500-H+B: 1998; 20th Ed. Métodos de campo
Conductividad	APHA, AWWA, WEF 2510.B: 1998; 20th Ed.
Turbiedad	APHA, AWWA, WEF 2130.B: 1998; 20th Ed. Turbiedad, Método Nefelométrico.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	APHA, AWWA, WEF 5210-B: 1998; 20th Ed. Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD). 5 day BOD Test.
Sólidos Suspendidos Volátiles	APHA, AWWA, WPCF 2540E: 1989; 17th Ed. Método Gravimétrico

*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 4.4** Recolectores de efluentes utilizados en la investigación

### c. Tercera Etapa:

Finalmente en la semana 52 se tomó muestra del camal frigorífico La Colonial ubicado en el cruce de calle Alfa con calle 20 de diciembre, en el Callao. Dichas muestras se diluían al verterlo en el tanque elevado. Este procedimiento se realizó hasta la semana 54 que se dio por concluido los análisis.



**Fotografía 4.5** Camal frigorífico La Colonial

**Tabla 4.4** Etapas del Proyecto de Investigación

Periodo	Tipo de afluente	Fecha Inicio	Fecha Final	Nº Días
Etapa I	Domestico secundario	17/05/17	23/03/18	288
Etapa II	Domestico primario	26/03/18	11/05/18	47
Etapa III	Industrial	15/05/18	25/05/18	10

*Fuente: Elaboración propia*

## 5. CAPÍTULO V.

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los resultados que se obtuvieron durante las 3 etapas de la investigación se presentan en este capítulo.

#### 5.1. DE LA POROSIDAD DE LOS MEDIOS DE SOPORTE

En el capítulo anterior, en el ítem 4.8 se determinó la fórmula para la porosidad para cada medio de soporte en el campo. Los resultados se presentan en la Tabla 5.1

**Tabla 5.1** Medición de las porosidades de los 2 filtros en campo.

		Unidad	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
<b>Sistema con 2 Filtros en paralelo</b>	V <sub>total</sub>	(L)	51.84	51.84
	V <sub>vacíos</sub>	(L)	44.24	5.34
	Porosidad	%	85.34	10.29

#### 5.2. DE LA DENSIDAD DE *ARGOPECTEN PURPURATUS* COMO MEDIO DE SOPORTE

Los resultados se presentan en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Medición de las densidades del *Argopecten purpuratus* como medio de soporte

Mediciones en		Unidad	Laboratorio	Campo
<b>laboratorio y en campo</b>	Peso	(Kg)	0.552	17.2
	Volumen	(L)	1.30	40.62
	Densidad	(Kg/m <sup>3</sup> )	424.62	423.45

Se consideró una densidad promedio de 424.03 Kg/m<sup>3</sup>. En la tabla 5.3 se muestra la cantidad de valvas contabilizadas en laboratorio

**Tabla 5.3** Cálculo de *Argopecten purpuratus* por unidad de volumen

	Unidad	Cantidad
<i>Argopecten purpuratus</i>	und	38
Volumen	(L)	1.30

Al multiplicar por el factor de conversión a metro cúbico, el cociente de unidades de *Argopecten purpuratus* por litro, resultaría en el valor aproximado de:

$$\frac{38 \text{ und}}{1.30 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 29231 \text{ und/m}^3$$

### 5.3. DEL AREA SUPERFICIAL DEL MEDIO DE SOPORTE

La superficie específica de un medio de soporte está definida como el total del área intersticial de los poros por unidad de volumen del medio de soporte, o de unidad de peso, o por unidad de un componente del medio de soporte.

En la presente investigación se calculó por unidad de componente y por unidad de volumen, es decir el área en cm<sup>2</sup> por valva de *Argopecten purpuratus* y el área en m<sup>2</sup> por volumen en m<sup>3</sup> como medio de soporte. En la tabla 5.4 se muestra el promedio de estas.

**Tabla 5.4** Superficie específica del medio de soporte del Filtro F<sub>1</sub>

Superficie específica		
Muestra	cm <sup>2</sup> / <i>Argopecten purpuratus</i>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
1	61.31	179.21
2	70.70	206.67
3	74.13	216.69
4	75.23	219.90
5	75.93	221.96
6	77.87	227.62
7	84.12	245.90
8	85.76	250.70
9	86.08	251.61
10	86.32	252.33
11	88.69	259.25
12	89.98	263.02
Promedio	<b>79.68</b>	<b>232.91</b>

#### 5.4. DE LA ADHERENCIA DEL MEDIO DE SOPORTE

Los microorganismos anaerobios crecen adheridos a las paredes del medio de soporte, a ese conjunto se le denomina biofilm. Se ha calculado la relación de peso de biofilm adherido con respecto al peso de una unidad de soporte (una piedra chancada y una *Argopecten purpuratus*). Dicho cálculo se realizó tomando muestras del material de soporte al finalizar la investigación. En las tablas 5.2 y 5.3 se muestran dicha relación y su promedio para cada filtro. Así mismo en la gráfica 5.1 se muestra su valor promedio y la desviación estándar.

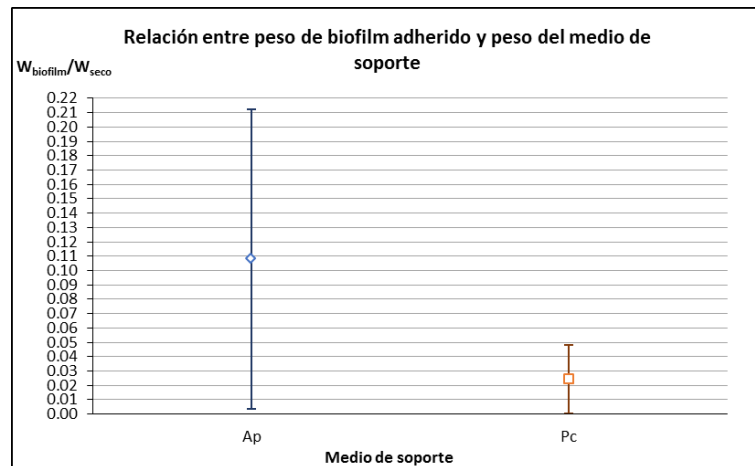
**Tabla 5.5** Relación de peso seco y biofilm adherido en el Filtro F<sub>1</sub>

Relación de pesos de medio soporte y biofilm adherido en Filtro F <sub>1</sub>				
Muestra	W <sub>seco</sub> + W <sub>biofilm</sub> (g)	W <sub>seco</sub> (g)	W <sub>biofilm</sub> (g)	$\frac{W_{biofilm}}{W_{seco}}$ (%)
1	16.9	16.1	0.8	4.97
2	16.0	15.0	1.0	6.67
3	21.2	19.7	1.5	7.61
4	13.7	13.7	0.0	0.00
5	13.2	11.5	1.7	14.78
6	26.8	24.5	2.3	9.39
7	16.0	12.1	3.9	32.23
			<b>Promedio</b>	10.81

**Tabla 5.6** Relación de peso seco y biofilm adherido en el Filtro F<sub>2</sub>

Relación de pesos de medio de soporte y biofilm adherido en Filtro F <sub>2</sub>				
Muestra	W <sub>seco</sub> + W <sub>biofilm</sub> (g)	W <sub>seco</sub> (g)	W <sub>biofilm</sub> (g)	$\frac{W_{biofilm}}{W_{seco}}$ (%)
1	9.1	9.0	0.1	1.11
2	8.3	8.1	0.2	2.47
3	9.6	9.4	0.2	2.13
4	4.5	4.4	0.1	2.27
5	4.1	4.1	0.0	0.00
6	6.0	5.9	0.1	1.69
7	8.9	8.2	0.7	8.54
8	6.4	6.3	0.1	1.59
9	4.2	4.2	0.0	0.00
10	14.5	14.3	0.2	1.40
11	6.0	5.9	0.1	1.69
12	5.1	4.8	0.3	6.25
13	4.1	4.0	0.1	2.50
			<b>Promedio</b>	2.43





Ap.- Relación entre el peso de Biofilm adherido y el peso de la *Argopecten purpuratus*

Pc.- Relación entre el peso de Biofilm adherido y el peso de la piedra chancada.

**Gráfico 5.1** Relación entre el peso de Biofilm y peso de los medios de soporte

## 5.5. DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS

En tablas 5.7, 5.8 y 5.9 se muestran los resultados promedio de los análisis realizados en laboratorio durante las etapas descritas en el ítem 4.15

### 5.5.1. DURANTE EL PERIODO DE LA PRIMERA ETAPA

Corresponde a los resultados analizados desde la primera semana hasta la 45° semana.

**Tabla 5.7** Resultados en el periodo de la Etapa N° 01

ETAPA N° 1				
Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.31 ± 0.18	7.32 ± 0.19	7.32 ± 0.17
Temperatura	°C	22.33 ± 4.19	21.69 ± 3.97	21.79 ± 4.04
Conductividad	μS/cm	982.70 ± 89.92	1068.43 ± 165.74	971.48 ± 68.08
Turbiedad	UNT	84.22 ± 42.97	43.34 ± 21.61	69.86 ± 26.01
Temperatura Ambiental	°C	23.21 ± 5.29		
Humedad Relativa	%	66.60 ± 12.04		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	67.74 ± 20.89	59.67 ± 17.27	60.29 ± 20.22
Solidos Suspendidos Totales	mg/l	14.49 ± 6.22	7.78 ± 3.56	9.18 ± 3.70
Solidos Suspendidos Fijos	mg/l	2.05 ± 2.33	0.73 ± 0.88	0.66 ± 0.83
Solidos Suspendidos Volátiles	mg/l	12.43 ± 4.53	7.05 ± 2.88	8.52 ± 3.37
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.10 ± 1.97	4.48 ± 1.65	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.07 ± 1.57	-	4.57 ± 1.77

### 5.5.2. DURANTE EL PERIODO DE LA SEGUNDA ETAPA

Corresponde a los resultados analizados desde la 46° semana hasta la 51° semana.

**Tabla 5.8** Resultados en el periodo de la Etapa N° 02

ETAPA N° 2				
Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.28 ± 0.14	7.38 ± 0.04	7.36 ± 0.04
Temperatura	°C	29.49 ± 1.28	29.22 ± 1.30	29.14 ± 1.30
Conductividad	μS/cm	778.97 ± 59.74	801.11 ± 58.36	788.98 ± 59.70
Turbiedad	UNT	70.58 ± 25.12	28.10 ± 9.13	42.53 ± 12.93
Temperatura Ambiental	°C	30.34 ± 2.12		
Humedad Relativa	%	50.90 ± 6.84		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	94.59 ± 14.74	78.99 ± 12.15	71.39 ± 8.72
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	26.76 ± 2.51	9.73 ± 1.04	8.76 ± 2.03
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	2.72 ± 0.85	1.06 ± 0.47	0.22 ± 0.44
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	24.04 ± 2.66	8.67 ± 1.14	8.54 ± 1.66
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.30 ± 1.63	4.34 ± 1.00	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.14 ± 2.08	-	4.01 ± 1.84

### 5.5.3. DURANTE EL PERIODO DE LA TERCERA ETAPA

Corresponde a los resultados analizados desde la 52° semana hasta la 54° semana.

**Tabla 5.9** Resultados en el periodo de la Etapa N° 03

ETAPA N° 3				
Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.38 ± 0.10	7.46 ± 0.14	7.41 ± 0.07
Temperatura	°C	28.01 ± 2.70	27.12 ± 2.12	27.08 ± 2.04
Conductividad	μS/cm	1001.31 ± 42.59	1033.60 ± 106.14	1015.49 ± 79.32
Turbiedad	UNT	48.24 ± 27.13	24.26 ± 8.36	37.63 ± 19.09
Temperatura Ambiental	°C	29.02 ± 5.06		
Humedad Relativa	%	53.67 ± 11.24		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	126.86	116.75	83.97
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	17.50	5.50	6.78
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	1.61	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	15.89	5.50	6.78
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	6.45	5.93	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.48	-	3.63

Los monitoreos realizados durante cada una de las 54 semanas tienen sus análisis detallados en el Anexo N° 2 y las eficiencias de remoción de los parámetros analizados se indican el Anexo N° 3.

## **6. CAPÍTULO VI.**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **6.1. DE LOS PARAMETROS DE MEDICIÓN EVALUADOS**

En el presente ítem se indica los resultados de los análisis colectados durante el tiempo de investigación con la finalidad de comparar las relaciones entre los parámetros evaluados y las eficiencias de remoción encontradas.

Algunos de estos resultados fueron comparados principalmente con los resultados de las investigaciones de los investigadores Villanueva et al (2012) y Cárdenas & Ramos (2008).

##### **6.1.1. TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA EN LOS PUNTOS DE MUESTREO**

Una vez observado la temperatura ambiental y la temperatura medida en los puntos de muestreo por periodos, se verificó el comportamiento que se muestra en la Grafica 6.1

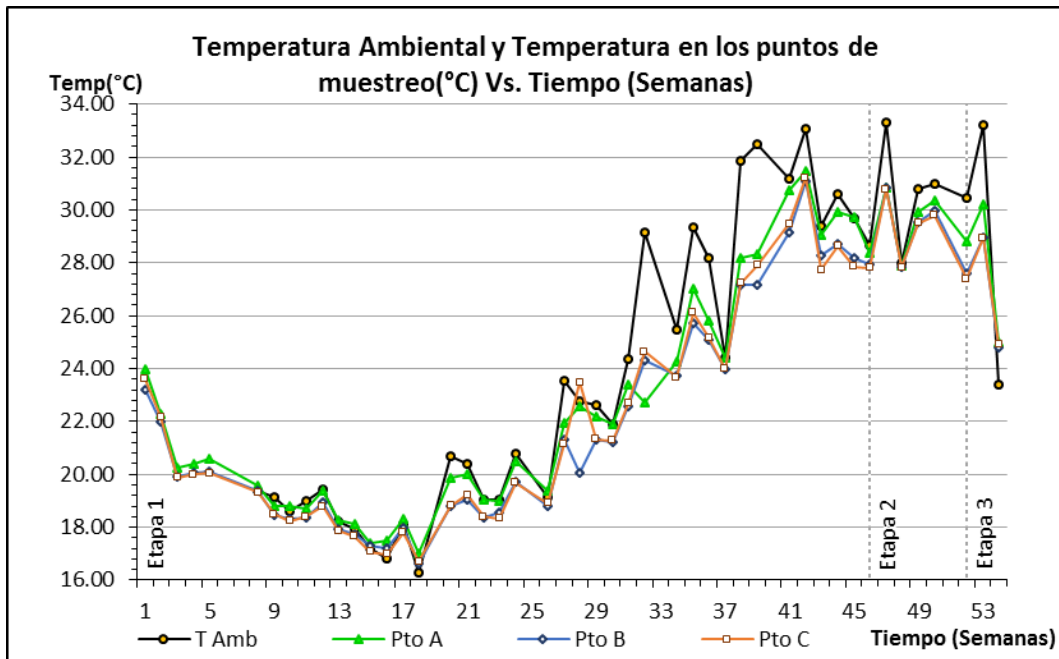
Durante la etapa 1 (del 17 de mayo al 14 de setiembre de 2017 – semana 1 hasta la semana 18) se observó que la temperatura ambiental fue muy similar a las temperaturas en los puntos de muestreo. Además los valores tendían a bajar debido a la época de invierno en el hemisferio sur.

Del 25 de setiembre de 2017 al 6 de febrero de 2018 (semana 20 hasta la semana 39) la temperatura se fue incrementando debido a las estaciones de primavera y verano. La temperatura ambiental fue

significativamente mayor a las temperaturas del efluente y del afluente.

Del 20 de febrero al 23 de marzo de 2018 (semana 39 hasta la semana 45) la temperatura se mantuvo casi constante, bajando levemente pues había iniciado el otoño.

Además la temperatura ambiental promedio es mayor en 0.88°C que la temperatura del afluente, y las temperaturas en los efluentes de los Filtros F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> son menores en 0.64 y 0.54 °C respectivamente a la temperatura del afluente.



T Amb .- Temperatura Ambiental  
 Pto A .- Temperatura en el punto A

Pto B .- Temperatura en el punto B  
 Pto C .- Temperatura en el punto C

**Gráfico 6.1** Temperatura Ambiental y en los puntos A, B y C Vs. Tiempo (Semanas)

La 2da. Etapa, desde el 26 de marzo hasta el 11 de mayo de 2018, se desarrolla con una temperatura ambiental mayor a la temperatura en el afluente en 0.85 °C, en promedio. Así mismo las temperaturas en los efluentes de los filtros son muy similares al del

afluente, con unas diferencias de 0.27 y 0.35 °C en los Filtros F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> respectivamente.

Del 15 al 25 de mayo de 2018 se desarrolló la tercera, la temperatura ambiental fue mayor en 1.01 °C que la del afluente, y esta fue mayor en 0.89 y 0.93 °C que las temperaturas en los efluentes de los filtros F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> respectivamente.

En la gráfica 6.1 se observó que durante casi todas las semanas los efluentes de los filtros presentan características psicrófila, es decir por debajo de los 30°C, a excepción de las semanas 42 y 47 en las que se presentan temperaturas dentro del rango termófilo (entre 30 y 38°C).

En la tabla 6.1 se presentan los valores de temperaturas promedios semanales, de las cuales se presentan los máximos, mínimos y promedios registrados en cada punto de muestreo, así como la temperatura ambiental.

Las temperatura en los efluentes de los filtros han fluctuado entre 16.6 y 31.2°C, en comparación a la bibliografía documentada en la que se mencionan que: en plantas de tratamiento de aguas residuales, el proceso anaerobio se lleva a cabo en el intervalo mesófilico de temperaturas de 25 a 40 °C con una temperatura óptima de aproximadamente 35 °C. (Bitton, 2005).

**Tabla 6.1** Valores Comparativos de Temperatura entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

Rango	Temp.	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
	Ambiental	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Máximo (°C)	33.3	31.5	31.1	31.2
Mínimo (°C)	16.3	17.0	16.6	16.7
Promedio (°C)	24.5	23.5	22.8	22.9

*Fuente: Elaboración propia*

Además en la investigación de Cárdenas & Ramos, en la que se hizo comparaciones entre materiales de soporte (entre ellos *Argopecten purpuratus*) se mencionó que para tener la temperatura

adecuada para favorecer el crecimiento biológico se requirió de un calentador de ventilación continua manteniendo el ambiente entre 28 y 30°C. Ello permitía mantener una temperatura en el interior de los reactores superior a los 30°C.

Cuando la temperatura ambiental llegó a sus valores máximos fue mayor a los valores del afluente y de los efluentes. Por el contrario, cuando llegó a los valores mínimos fue menor que los valores del afluente y efluente

### **6.1.2. PH**

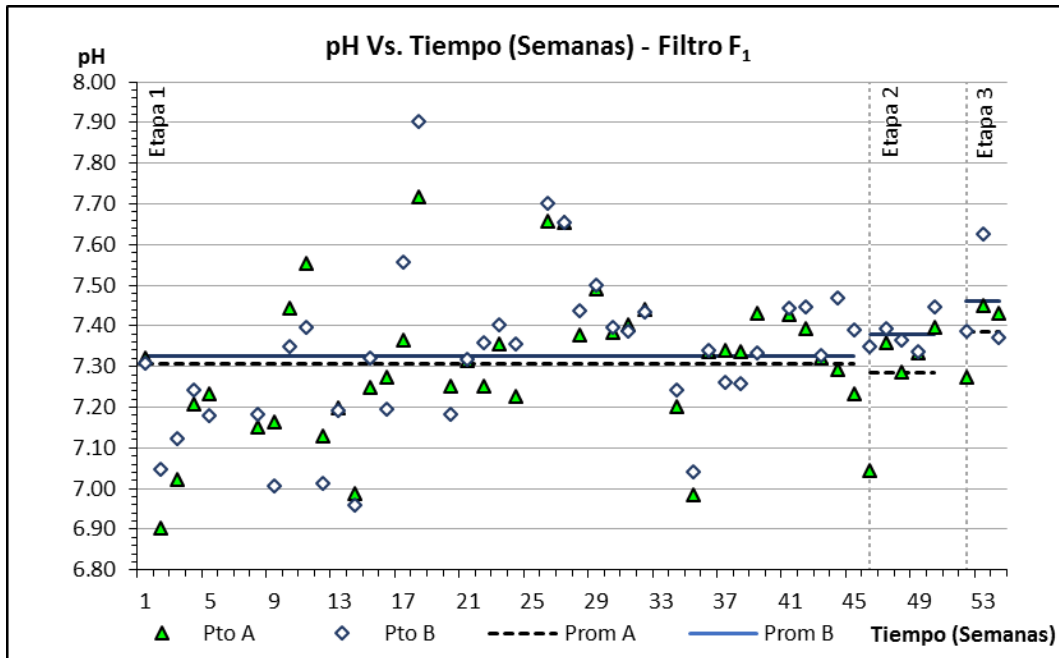
Los valores de Potencial de Hidrógeno (pH) registrados a diario, tomados en los puntos de afluente y efluentes de los filtros, se presentan en promedios semanales en la gráficas 6.2 y 6.3.

En la primera etapa, el valor promedio total de pH en los efluentes de ambos filtros son iguales sin embargo los valores promedios semanales varían tal como se muestra en la gráfica 6.4.

En las primeras semanas el valor de pH del efluente del Filtro  $F_1$  se mantuvo por debajo del correspondiente al Filtro  $F_2$  hasta la semana 20. A partir de esa semana se fue igualando y en casi todos los valores de pH estuvieron por encima en el efluente del Filtro  $F_1$ .

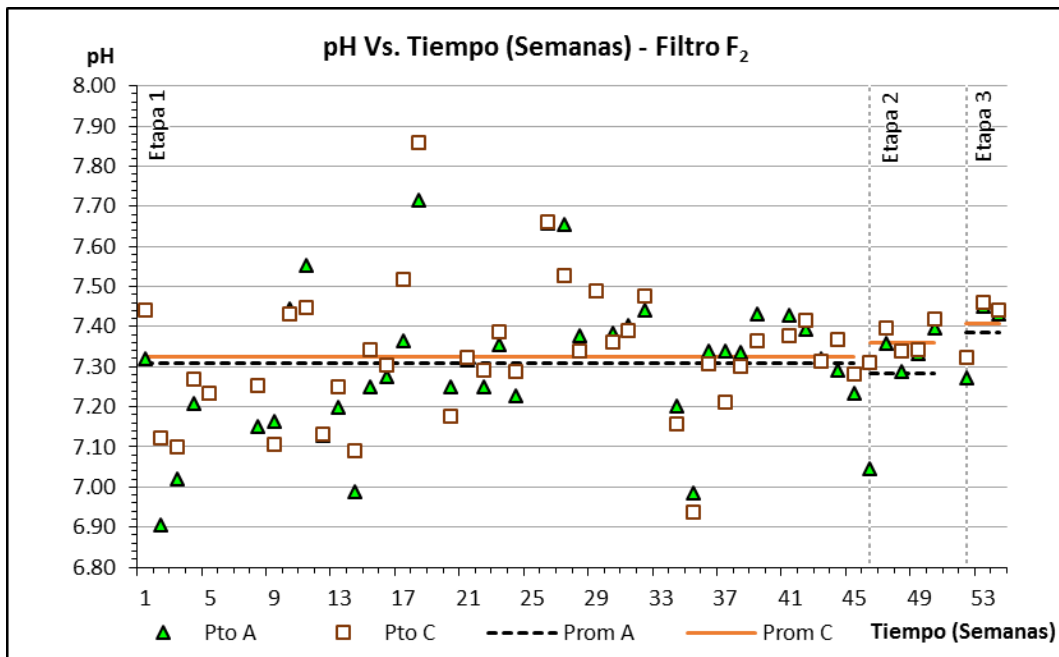
En la segunda etapa la diferencia entre el afluente y los efluentes son mayores en 0.02 con respecto a los valores correspondientes en la primera etapa; tal como se visualiza en las gráficas 6.2 y 6.3.

Así mismo también se observó que el efluente del Filtro  $F_1$  es mayor que del Filtro  $F_2$  en 0.05 en promedio durante la tercera etapa.



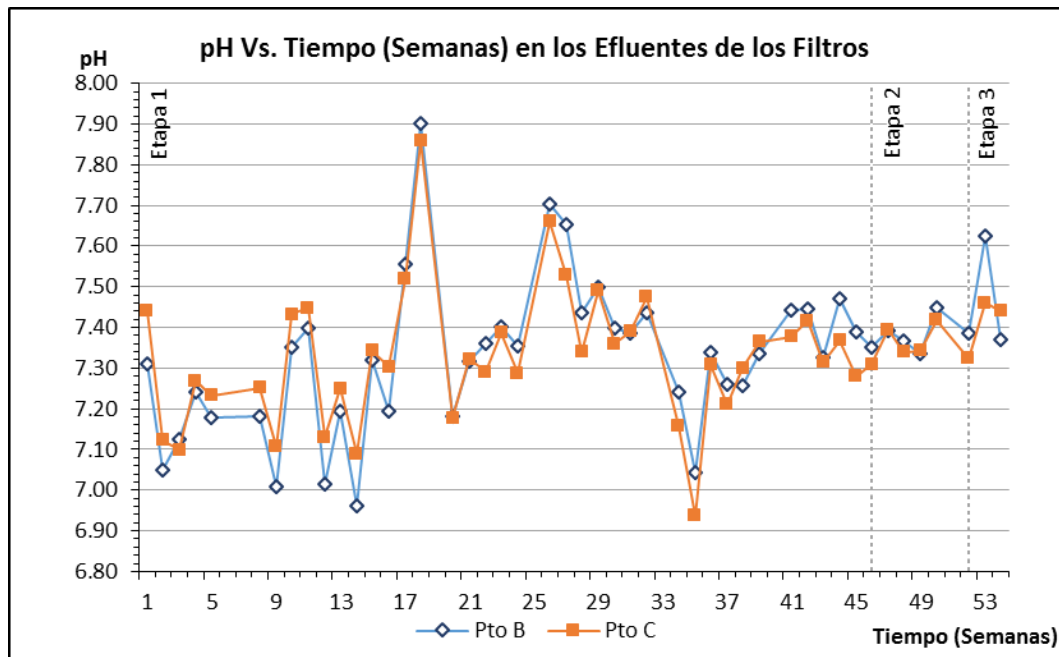
Pto A.- Potencial de hidrógeno en el Pto A      Prom A.- Valor promedio pH por etapas en el Pto A  
 Pto B.- Potencial de hidrógeno en el Pto B      Prom B.- Valor promedio pH por etapas en el Pto B

**Gráfico 6.2** Potencial de hidrógeno Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F<sub>1</sub>



Pto A.- Potencial de hidrógeno en el Pto A      Prom A.- Valor promedio pH por etapas en el Pto A  
 Pto C.- Potencial de hidrógeno en el Pto C      Prom C.- Valor promedio pH por etapas en el Pto C

**Gráfico 6.3** Potencial de hidrógeno Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F<sub>2</sub>



Pto B.- Potencial de hidrógeno en el Pto B

Pto C.- Potencial de hidrógeno en el Pto C

**Gráfico 6.4** Potencial de hidrógeno Vs. Tiempo (Semanas) en los Efluentes de los Filtros

La investigación de **Cardenas & Ramos** menciona que los afluentes de los reactores se mantuvieron en niveles superiores a 6.2 para evitar la acidificación, la toxicidad para la metanogénesis, inhibiendo drásticamente el metabolismo metanogénico si el pH llegara a 5.

Así también **Villanueva et al.** mencionan que si se presentan pH iniciales altos o bajos no se desarrollaran adecuadamente las bacterias y será necesario acondicionar el agua residual dejándolo entre 6.5 y 7.6 para así acelerar el proceso.

**Tabla 6.2** Valores Comparativos de pH entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

Rango	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Máximo	7.72	7.90	7.86
Mínimo	6.90	6.96	6.94
Promedio	7.31	7.34	7.33

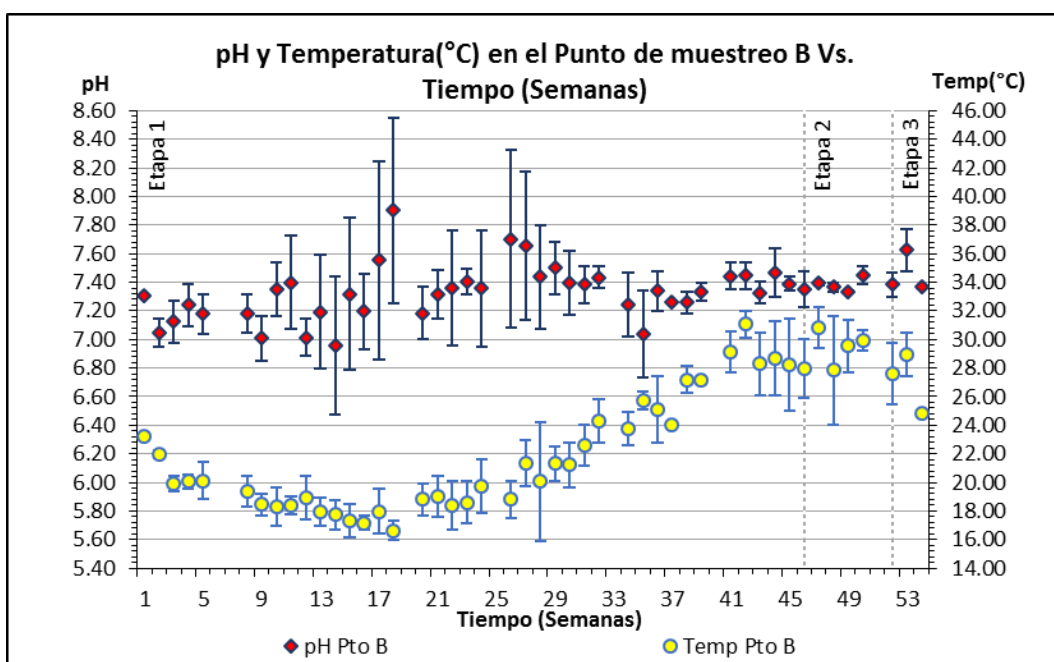
Fuente: Elaboración propia



### 6.1.3. TEMPERATURA EN PUNTO DE MUESTREO Y PH

Se muestra en la gráfica 6.5 la temperatura y el pH en el efluente de Filtro F<sub>1</sub> con sus respectivas desviaciones estándar semanales.

Desde la semana 1 hasta la 18 los valores de desviación estándar del pH en el efluente del Filtro F<sub>1</sub> van incrementándose hasta 0.69 como máximo. Durante dichas semanas, La temperatura iban disminuyendo desde 23.2°C hasta 16.6°C como mínimo.



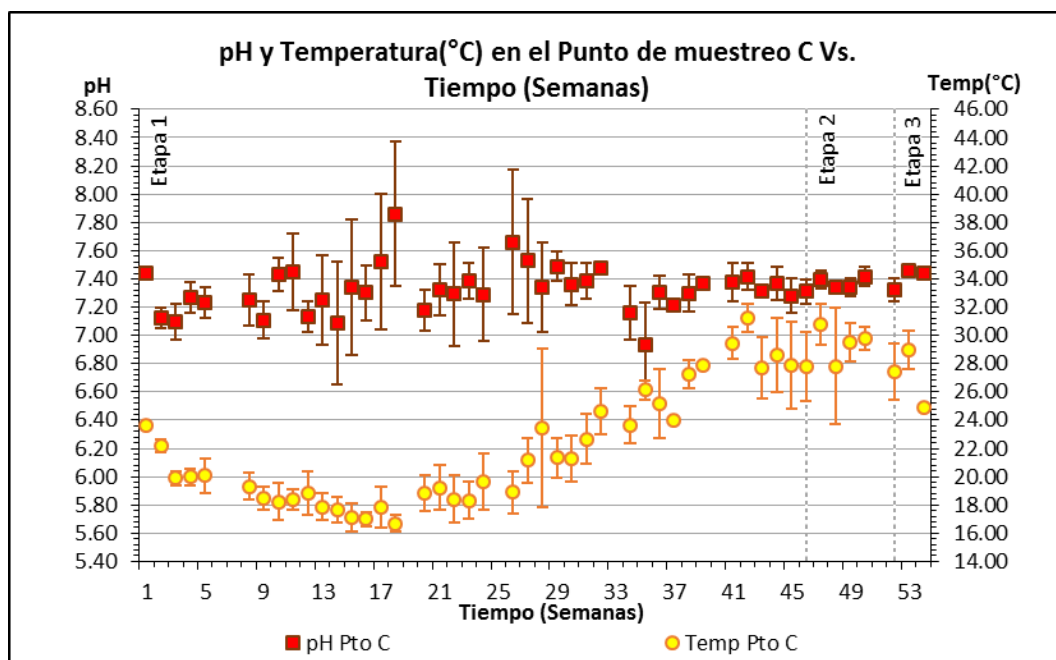
pH Pto B.- pH en el Pto de muestreo B      Temp Pto B.- Temperatura en el Pto de muestreo B  
**Gráfico 6.5** pH y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo B

Entre las semanas 20 y 24 la temperatura fluctuó entre 18.4 y 19.7 y la desviación estándar de pH del Filtro F<sub>1</sub>, fluctuó entre 0.18 y 0.41. A partir de la semana 26 hasta la 42, la temperatura tuvo una tendencia creciente en el efluente del Filtro F<sub>1</sub>, desde 18.8 hasta 31.06 °C. Mientras que la desviación estándar del pH tiende a ir disminuyendo desde 0.62 hasta 0.09 durante esas semanas.

Desde la semana 43 hasta la 45 la temperatura y el pH mantienen una tendencia similar que varía entre 28.2 y 28.7; y 7.33 hasta 7.47

respectivamente. Además la desviación estándar del pH varió entre 0.05 y 0.17.

En la segunda etapa en el efluente del Filtro F<sub>1</sub>, la temperatura sigue una tendencia similar al pH, variando entre 27.83 y 30.83°C y el pH entre 7.34 y 7.45 con la desviación estándar de este parámetro entre 0.01 y 0.13. En la tercera etapa, similar a la segunda etapa, la tendencia se mantiene entre los dos parámetros, además la temperatura tiende a disminuir desde 28.95 a 24.8 °C mientras que el pH desde 7.63 a 7.37. La desviación estándar de pH se mantiene entre 0.09 y 0.15.



*pH Pto C.- pH en el Pto de muestreo C*      *Temp Pto C.- Temperatura en el Pto de muestreo C*  
**Gráfico 6.6** pH y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo C

Se muestra en la gráfica 6.6 la temperatura y el pH en el efluente de Filtro F<sub>2</sub> con sus respectivas desviaciones estándar semanales.

Se observó que desde la semana 1 hasta la semana 18 la temperatura disminuyó desde 23.6 y 16.7°C, así como los valores

de desviación estándar del pH tiende a aumentar desde 0.07 hasta 0.51.

Desde la semana 20 hasta la semana 42 la temperatura tuvo una tendencia creciente en el efluente del Filtro F<sub>2</sub> desde 18.82 hasta 31.22 °C. La desviación estándar tiende a disminuir desde 0.51 hasta 0.01.

A partir de la semana 43 hasta la semana 45, la temperatura y el pH mantienen la misma tendencia. Además la desviación estándar del pH varía entre 0.03 y 0.12.

En la segunda etapa en el efluente del Filtro F<sub>2</sub>, la temperatura sigue una tendencia similar al pH, variando entre 27.8 y 30.78°C y el pH entre 7.31 y 7.42 con la desviación estándar de pH entre 0.05 y 0.08.

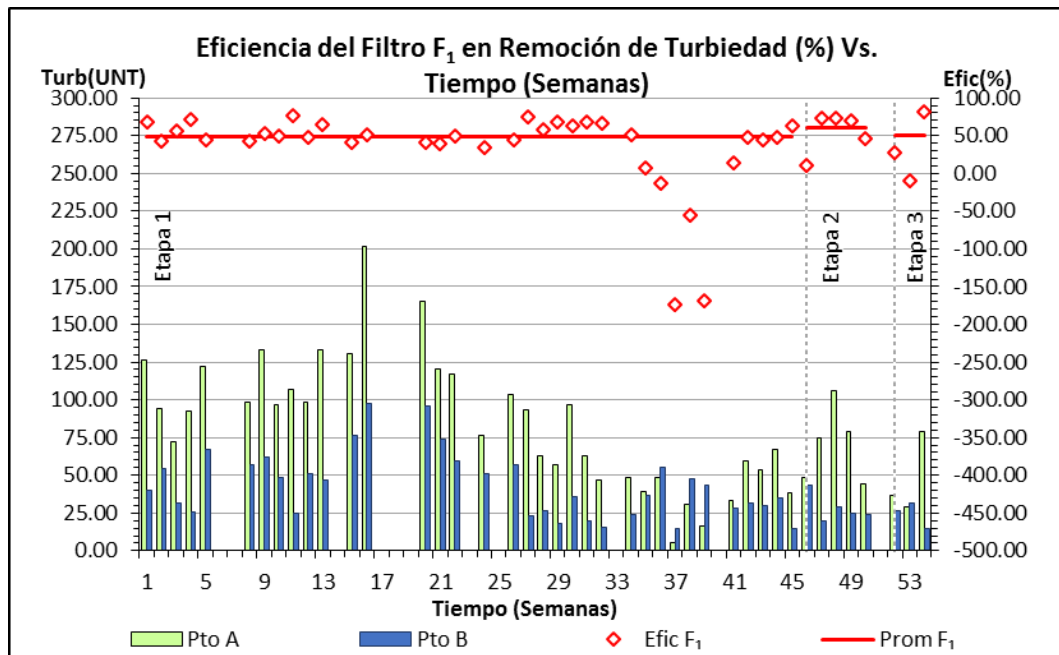
En la tercera etapa, similar a la segunda, la tendencia se mantiene entre los dos parámetros, además la temperatura tiende a disminuir desde 28.95 a 24.9 °C y la desviación estándar de pH se mantiene entre 0.04 y 0.09.

#### **6.1.4. TURBIEDAD**

En la gráfica 6.7 se detalla los valores de la turbiedad en el afluente y en el efluente del Filtro F<sub>1</sub> además de la eficiencia de remoción y el promedio por etapas.

Durante la primera etapa se obtuvo una remoción promedio de 48.54%. Así mismo el valor máximo de los promedios semanales fue de 76.57% en la semana 11, y el mínimo fue de 7.08% en la semana 35. Entre la semana 36 y 39 se observó que el valor en el efluente fue mayor que en el afluente debido a una disminución de

turbiedad brusca del efluente. De la semana 41 a la 45 la eficiencia fue incrementando desde 13.75 hasta 62.91.



Pto A.- Turbiedad en el Pto A

Efic F<sub>1</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en Remoción de Turbiedad

Pto B.- Turbiedad en el Pto B

Prom F<sub>1</sub>.- Valor promedio de eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> por etapas

**Gráfico 6.7** Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de turbiedad Vs. Tiempo (Semanas)

Durante la segunda etapa la remoción volvió a incrementarse desde 11.01 hasta 73.6% con un promedio de 60.2%.

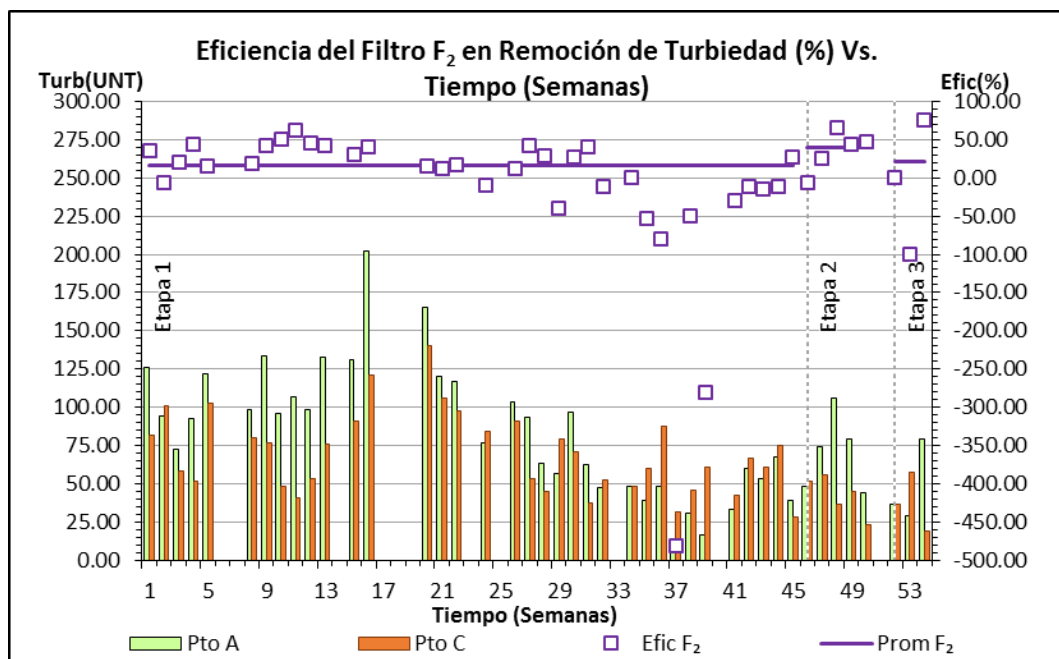
En la tercera etapa la turbiedad del afluente disminuyó en las semanas 52 y 53, no obstante en la semana 54 llegó a su remoción máxima de 81.06%.

En el efluente del Filtro F<sub>2</sub> se obtuvieron las remociones mostradas en la gráfica 6.8

En la primera etapa, durante la semana 2, 24, 29 y desde la 32 hasta la 44, el efluente tuvo mayor turbiedad que el afluente. La máxima eficiencia de remoción en esta etapa fue de 61.99% y en promedio a 34.84%.

En la segunda etapa la remoción aumentó hasta un 65.34% con un promedio de 39.75%. Solo en la semana 46 se observó que el efluente tenía mayor turbiedad que el afluente.

Así mismo en la tercera etapa el valor de la eficiencia llega a un máximo de 76.01% en la semana 54.



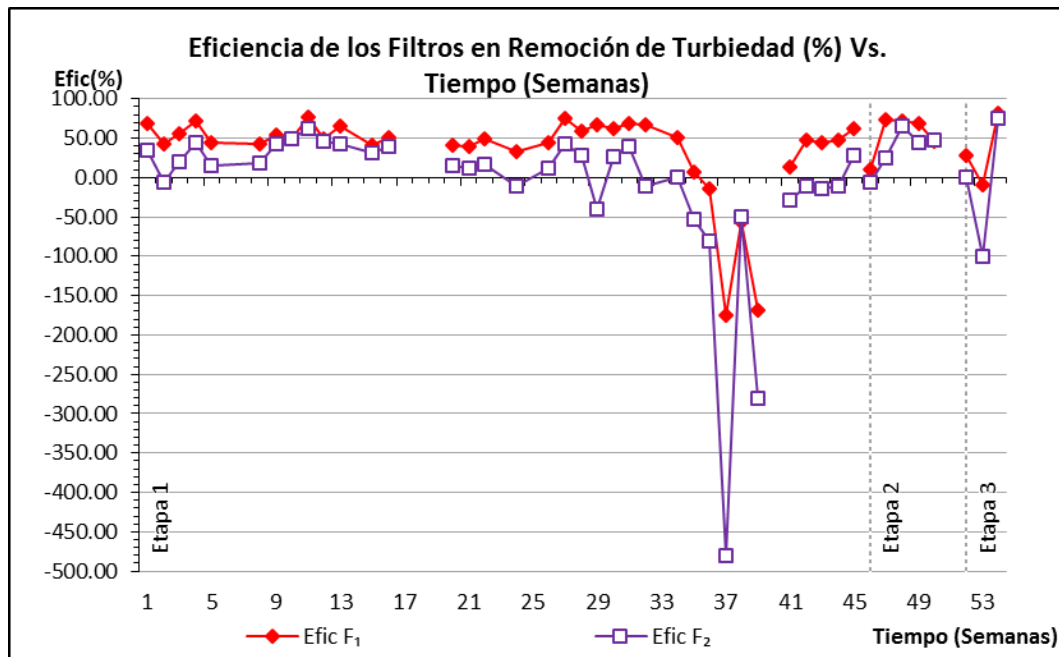
Pto A.- Turbiedad en el Pto A      Efic F<sub>2</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en Remoción de Turbiedad  
 Pto C.- Turbiedad en el Pto C      Prom F<sub>2</sub>.- Valor promedio de eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> por etapas

**Gráfico 6.8** Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de turbiedad Vs. Tiempo (Semanas)

**Tabla 6.3** Valores Comparativos de Turbiedad entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

Rango	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>	Eficiencia	Eficiencia
	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Filtro F <sub>1</sub> (%)	Filtro F <sub>2</sub> (%)
Máximo (UNT)	201.71	97.51	140.00	81.06	76.01
Mínimo (UNT)	5.39	14.37	19.00	-174.58	-480.71
Promedio (UNT)	80.12	40.24	64.44	49.78	19.58

Fuente: Elaboración propia



*Efic F<sub>1</sub>.*- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de turbiedad.

*Efic F<sub>2</sub>.*- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de turbiedad.

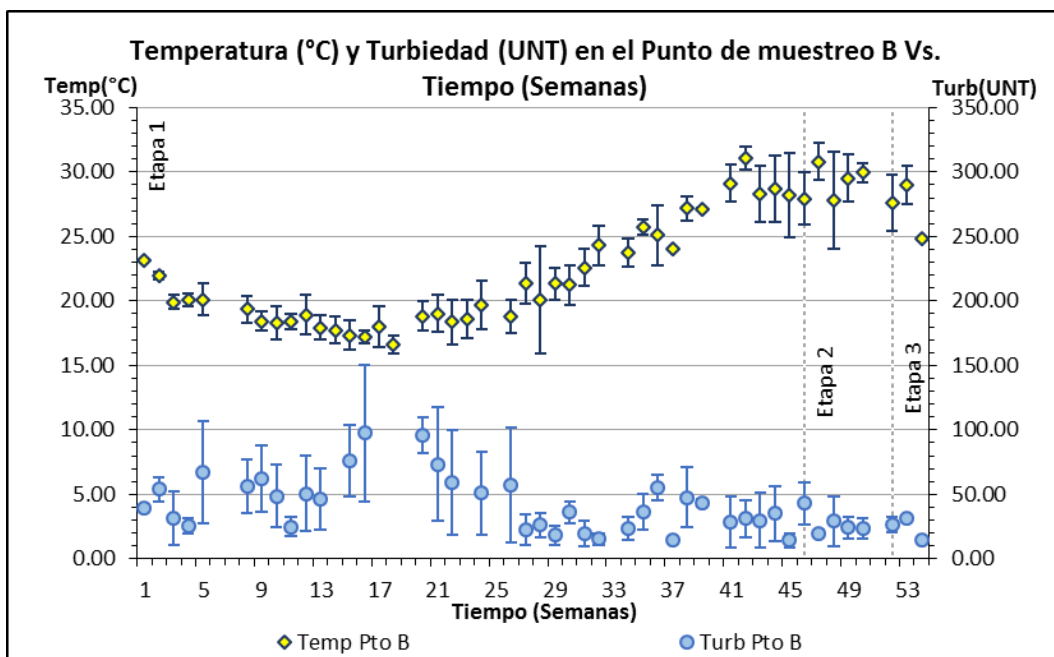
**Gráfico 6.9** Eficiencia de los Filtros en remoción de Turbiedad Vs Tiempo (Semana)

### 6.1.5. TEMPERATURA EN PUNTOS DE MUESTREO Y TURBIEDAD

En la gráfica 6.10 y 6.11 se presentan los promedios semanales de temperatura y turbiedad con sus respectivas desviaciones estándar de los efluentes de los filtros.

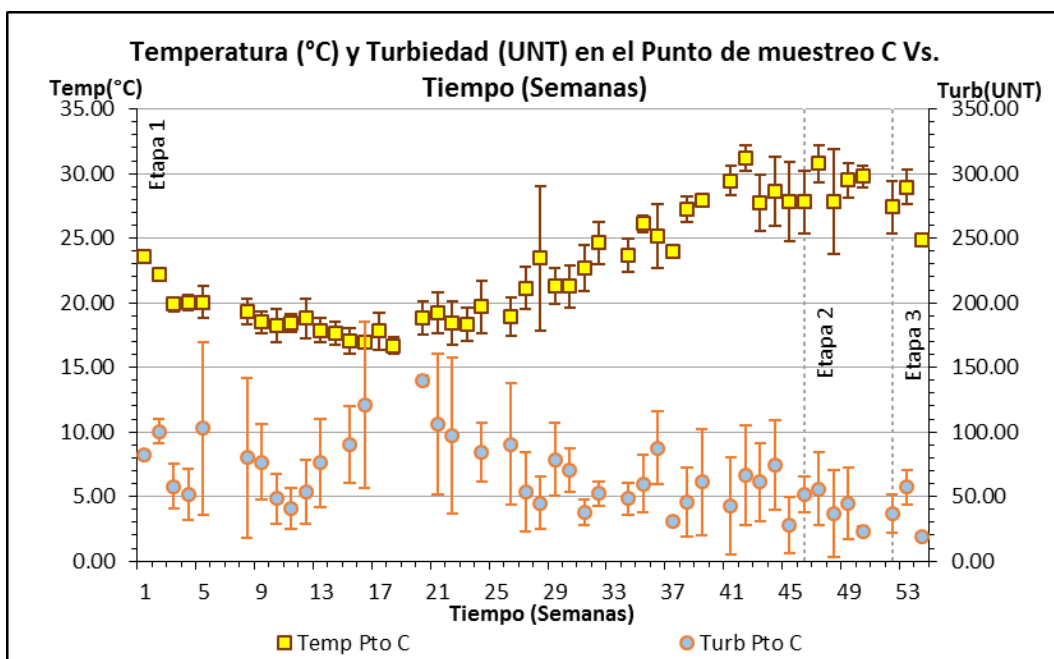
Se observó que desde la semana 1 hasta la 18 la temperatura tiende a disminuir mientras que la turbiedad tiende a aumentar en ambos filtros. Desde la semana 20 hasta la 54 la temperatura tuvo la tendencia a aumentar mientras que la turbiedad a disminuir.

Además se observó que en la mayoría de casos las desviaciones estándar de la turbiedad en el filtro F<sub>1</sub> son menores que en el filtro F<sub>2</sub>.



Temp Pto B .- Temperatura en el punto de muestreo B  
 Turb Pto B .- Turbiedad en el punto de muestreo B

**Gráfico 6.10** Temperatura y Turbiedad Vs Tiempo (Semana) en el Pto B



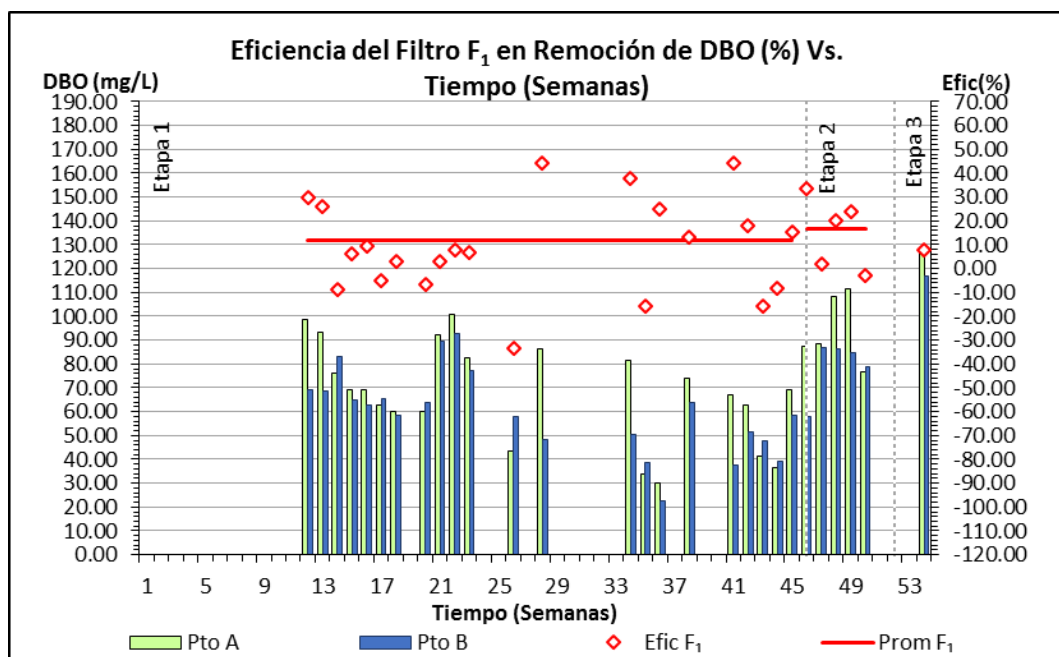
Temp Pto C .- Temperatura en el punto de muestreo C  
 Turb Pto C .- Turbiedad en el punto de muestreo C

**Gráfico 6.11** Temperatura y Turbiedad Vs Tiempo (Semana) en el Pto C

### 6.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

En las gráficas 6.12, 6.13 y 6.14 se muestran los valores promedio semanales de Demanda Bioquímica de Oxígeno y las eficiencias de las remociones promedio semanales y por periodos.

Para el Filtro  $F_1$ , en la primera etapa alcanzó una remoción máxima de 44.37%. En la segunda etapa se obtuvo 33.82% y finalmente 7.97% en la tercera etapa.



Pto. A.- DBO en el Pto A

Efic  $F_1$ .- Eficiencia del Filtro  $F_1$  en remoción de DBO

Pto. B.- DBO en el Pto B

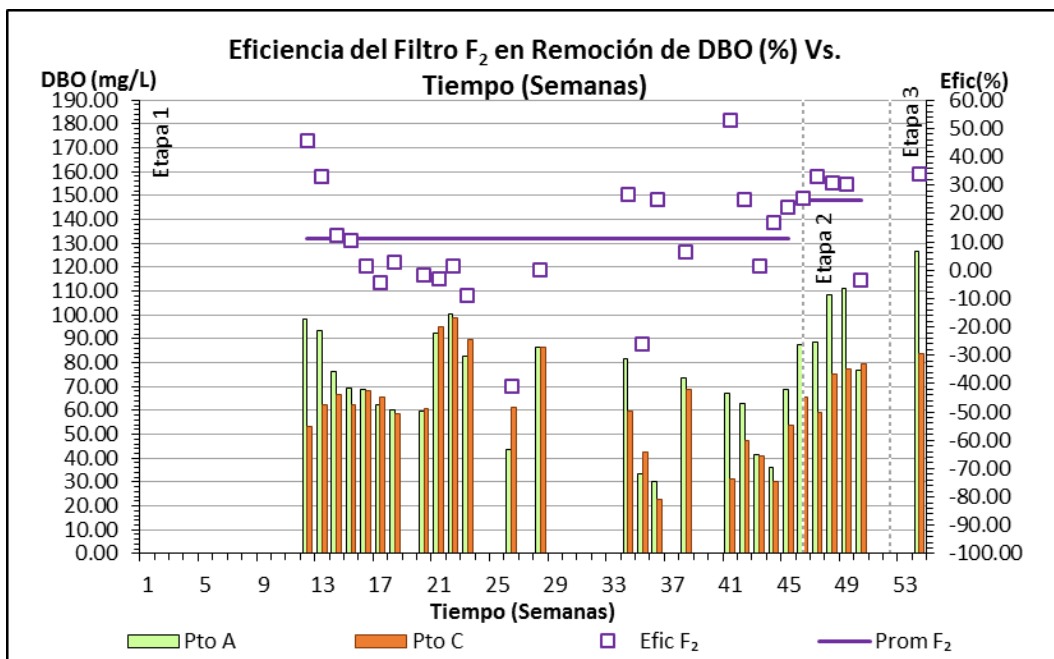
Prom  $F_1$ .- Valor promedio de eficiencia del Filtro  $F_1$  por etapas

**Gráfico 6.12** Eficiencia del Filtro  $F_1$  en remoción de DBO Vs. Tiempo (Semanas)

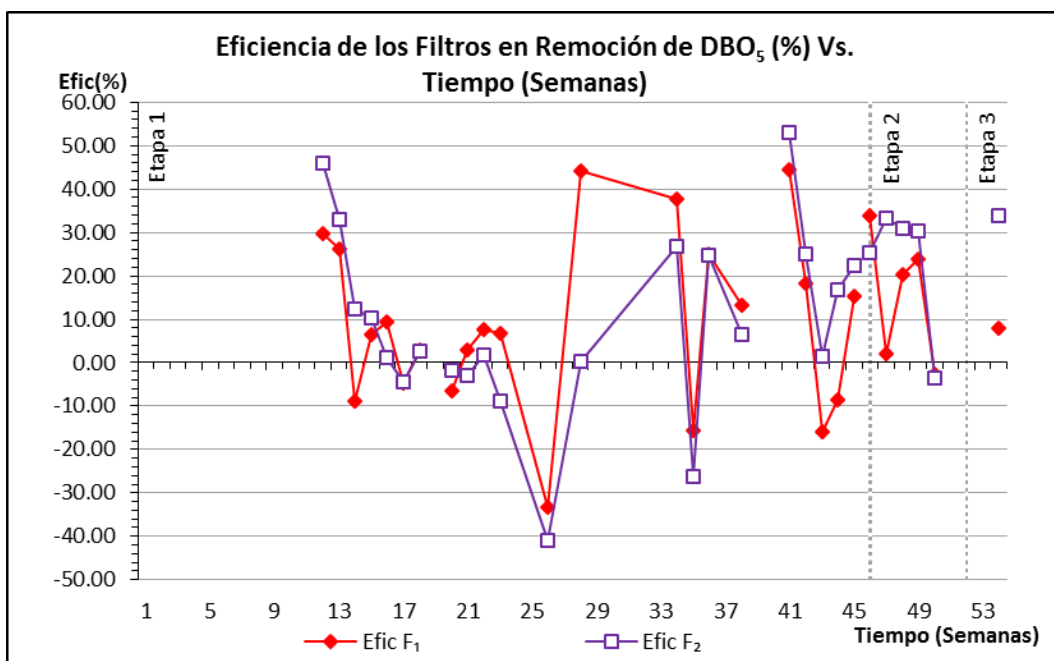
Para el Filtro  $F_2$ , en el primer periodo alcanzó una remoción máxima de 53.01%. En la segunda etapa se obtuvo 33.26% y finalmente 33.81% en la tercera etapa.

Comparando las eficiencias de remoción, el Filtro  $F_1$  fue de 11.92%, 16.49% y 7.97% y el del Filtro  $F_2$  fue de 10.99%, 24.53% y 33.81%; en promedio durante las tres etapas respectivamente, como se visualiza en los gráficos 6.12 y 6.13.





Pto. A.- DBO en el Pto A  
 Pto. C.- DBO en el Pto C  
 Efic F<sub>2</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de DBO  
 Prom F<sub>2</sub>.- Valor promedio de eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> por etapas  
**Gráfico 6.13** Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de DBO Vs. Tiempo (Semanas)



Efic F<sub>1</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.  
 Efic F<sub>2</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.  
**Gráfico 6.14** Eficiencia de los Filtros en remoción de DBO Vs. Tiempo (Semana)

**Tabla 6.4** Valores Comparativos de DBO entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

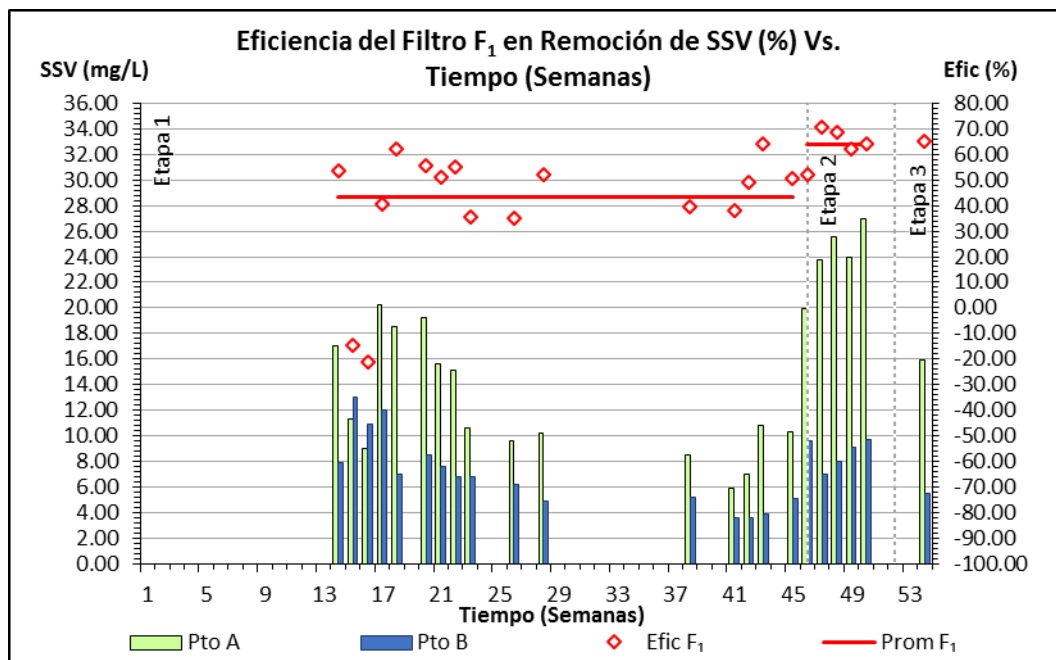
Rango	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>	Eficiencia	Eficiencia
	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Filtro F <sub>1</sub> (%)	Filtro F <sub>2</sub> (%)
Máximo (mg/l)	126.86	116.75	98.93	44.37	53.01
Mínimo (mg/l)	30.32	22.69	22.80	-33.33	-40.86
Promedio (mg/l)	74.65	65.16	63.12	12.71	15.44

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES

Los sólidos suspendidos del efluente de los filtros se muestran en los gráficos 6.15, 6.16 y 6.17.

En el filtro F<sub>1</sub> las remociones promedio fueron de 43.26%, 63.92% y 65.39% en cada etapa respectivamente.



Pto. A.- SSV en el Pto A

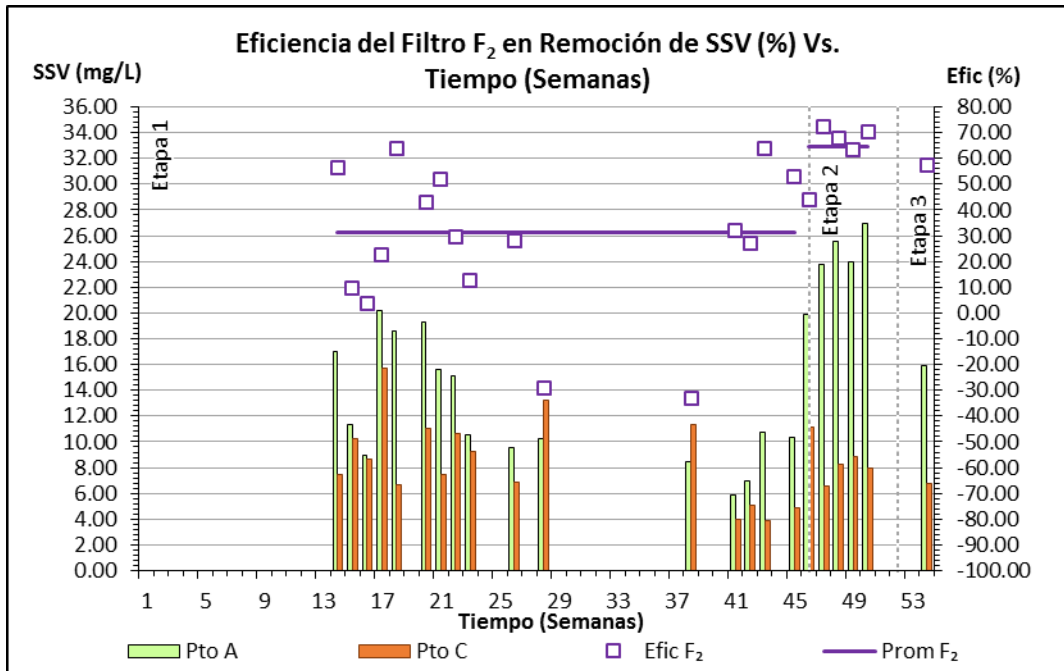
Efic F<sub>1</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de SSV

Pto. B.- SSV en el Pto B

Prom F<sub>1</sub>.- Valor promedio de eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> por etapas

**Gráfico 6.15** Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de SSV Vs. Tiempo (Semanas)

En el filtro F<sub>2</sub> las remociones promedio fueron de 31.45%, 64.47% y 57.34% en cada etapa respectivamente.



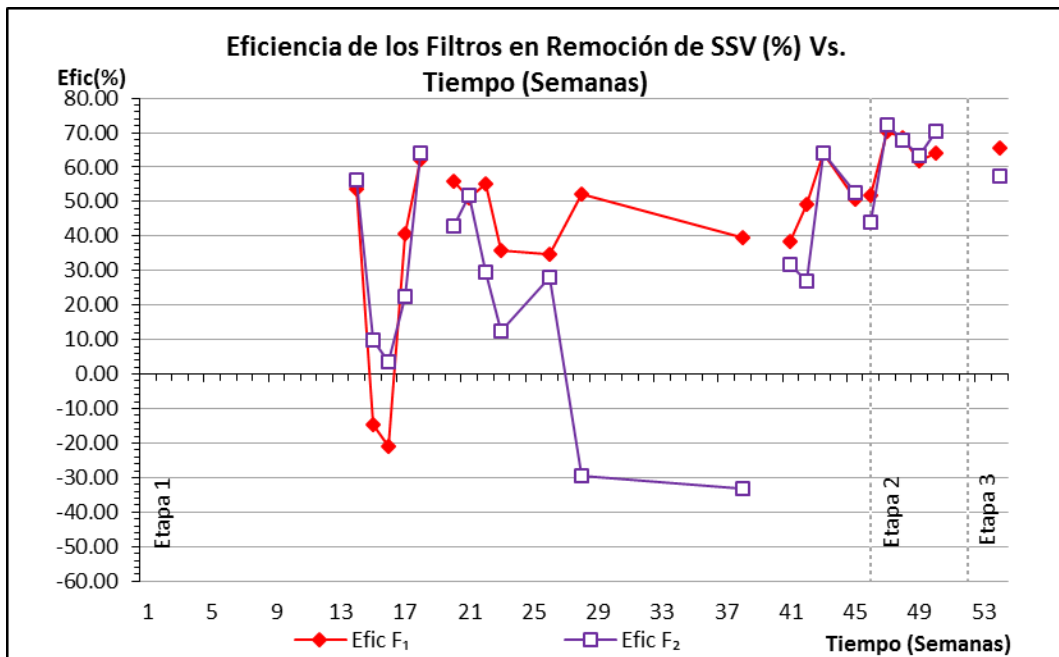
Pto. A.- SSV en el Pto A

Efic F<sub>2</sub>- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de SSV

Pto.C.- SSV en el Pto C

Prom F<sub>2</sub>- Valor promedio de eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> por etapas

**Gráfico 6.16** Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de SSV Vs. Tiempo (Semanas)



Efic F<sub>1</sub>- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de Sólidos Suspendedos Volátiles.

Efic F<sub>2</sub>- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de Sólidos Suspendedos Volátiles.

**Gráfico 6.17** Eficiencia de los Filtros en remoción de SSV Vs. Tiempo (Semana)

**Tabla 6.5** Valores Comparativos de SSV entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

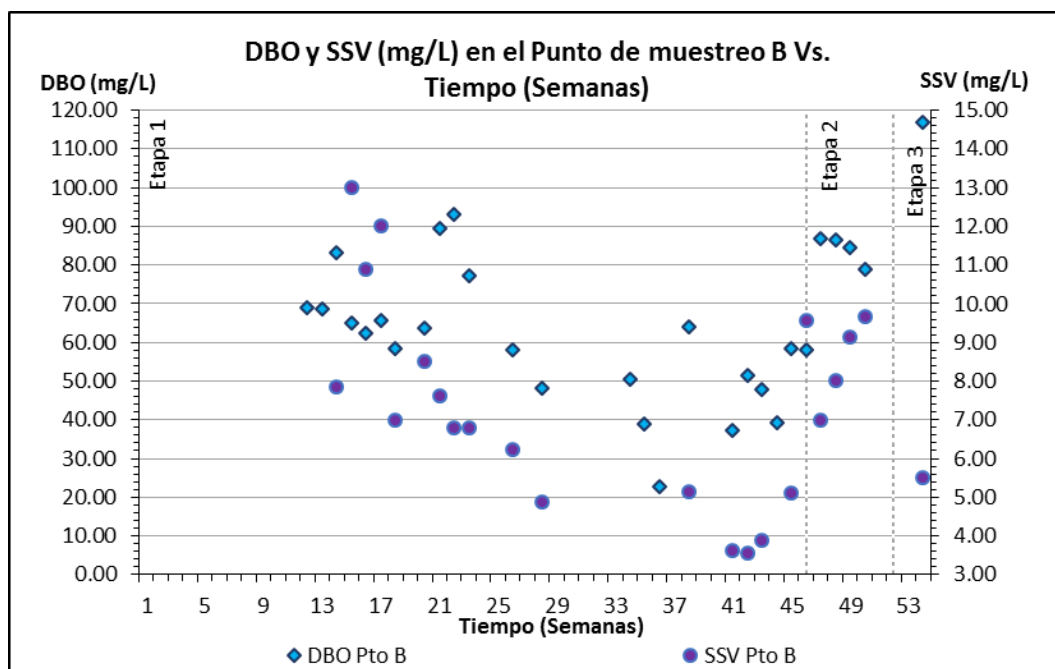
Rango	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>	Eficiencia	Eficiencia
	Pto. A	Pto. B	Pto. C	Filtro F <sub>1</sub> (%)	Filtro F <sub>2</sub> (%)
Máximo (mg/l)	27.00	13.00	15.67	70.51	72.38
Mínimo (mg/l)	5.87	3.56	3.89	-20.99	-33.33
Promedio (mg/l)	15.23	7.35	8.45	51.72	44.52

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.8. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO EN PUNTO DE MUESTREO Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES

En las gráficas 6.18 y 6.19 se muestran los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Suspendedos Volátiles.

En el Filtro F<sub>1</sub> se observa que durante la etapa 1 existe una tendencia similar de decrecimiento entre ambos parámetros, sin embargo en la etapa 2, mientras que la DBO disminuye, los SSV aumentan, así mismo en la etapa 3 mientras que la DBO llega a su valor más alto, los SSV disminuye y viceversa respecto de la etapa anterior.

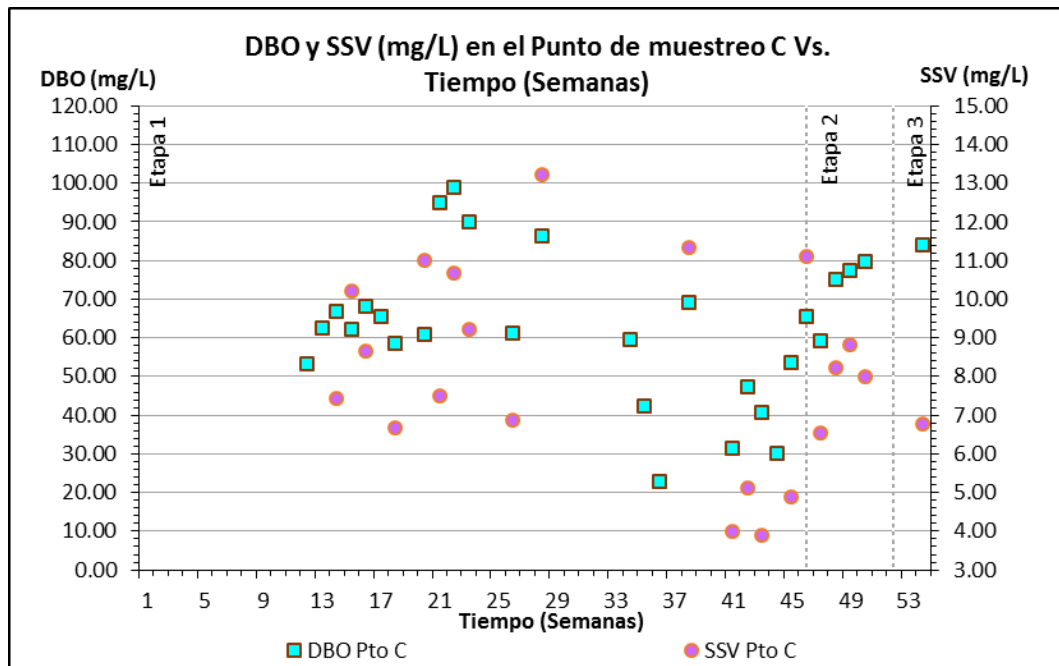


DBO Pto B.- Demanda Bioquímica de Oxígeno en el punto de muestreo B

SSV Pto B.- Sólidos Suspendedos Volátiles en el punto de muestreo B

**Gráfico 6.18** DBO y SSV Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo B

En el Filtro F<sub>2</sub> se observa un comportamiento similar descrito en el Filtro F<sub>1</sub> a excepción de la etapa 2, en la que la tendencia se mantiene hasta la semana 49. En la semana 50 cambia a una tendencia contraria entre estos parámetros y así se mantiene también en la etapa 3.



DBO Pto C.- Demanda Bioquímica de Oxígeno en el punto de muestreo C

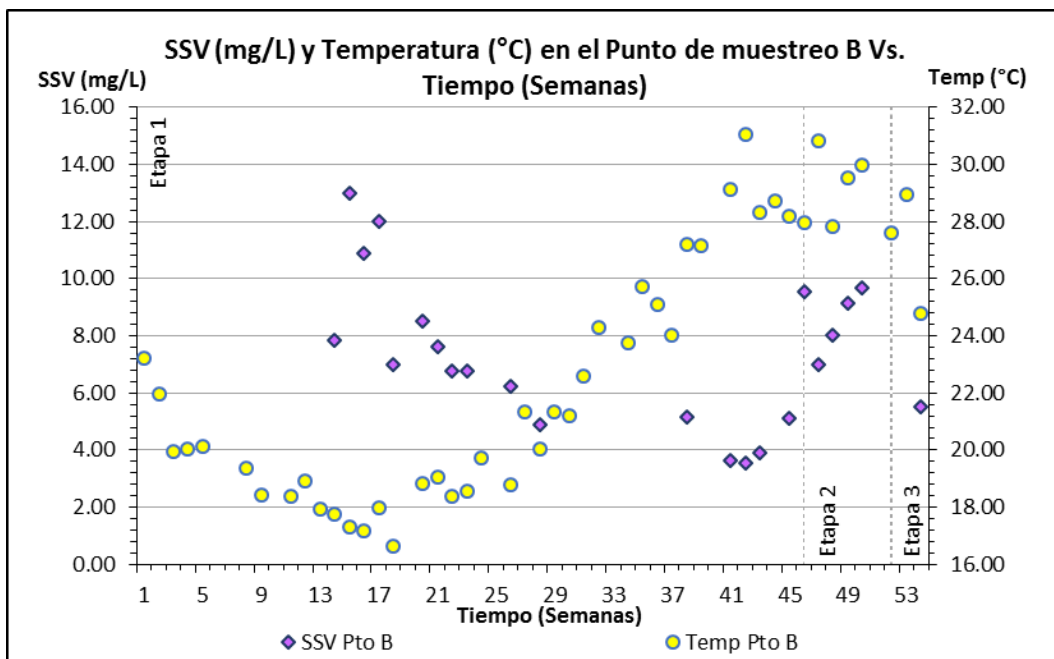
SSV Pto C.- Sólidos Suspendidos Volátiles en el punto de muestreo C

**Gráfico 6.19** DBO y SSV Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo C

### 6.1.9. SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN PUNTO DE MUESTREO Y TEMPERATURA

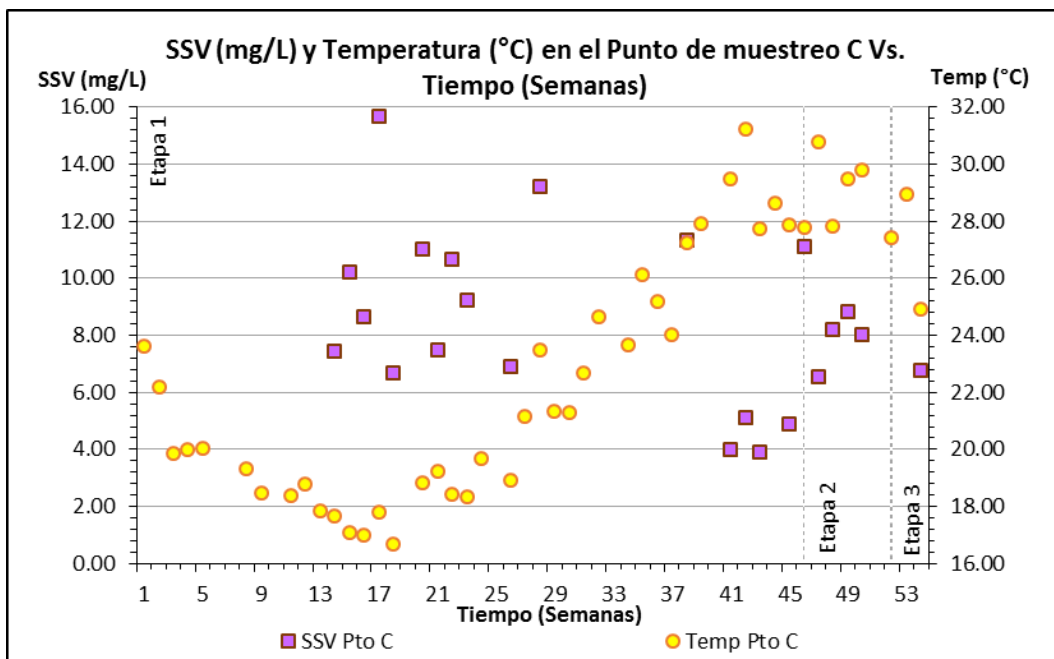
En la gráfica 6.20, el Filtro F<sub>1</sub> presentó un decremento de los SSV desde la semana 15 hasta la semana 42; mientras que la temperatura va en aumento.

En la semana 42, en que la temperatura llega a su valor máximo, los SSV llega a su valor mínimo para luego en las siguientes semanas mantienen una tendencia contraria entre los parámetros. No obstante en la semana 54 se volvió a encontrar un decremento de los SSV aunque la temperatura disminuyó. En la gráfica 6.21 se muestra el comportamiento similar del Filtro F<sub>2</sub>



SSV Pto B .- Sólidos Suspendidos Volátiles en el punto de muestreo B  
 Temp Pto B .- Temperatura en el punto de muestreo B

**Gráfico 6.20** SSV y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo B



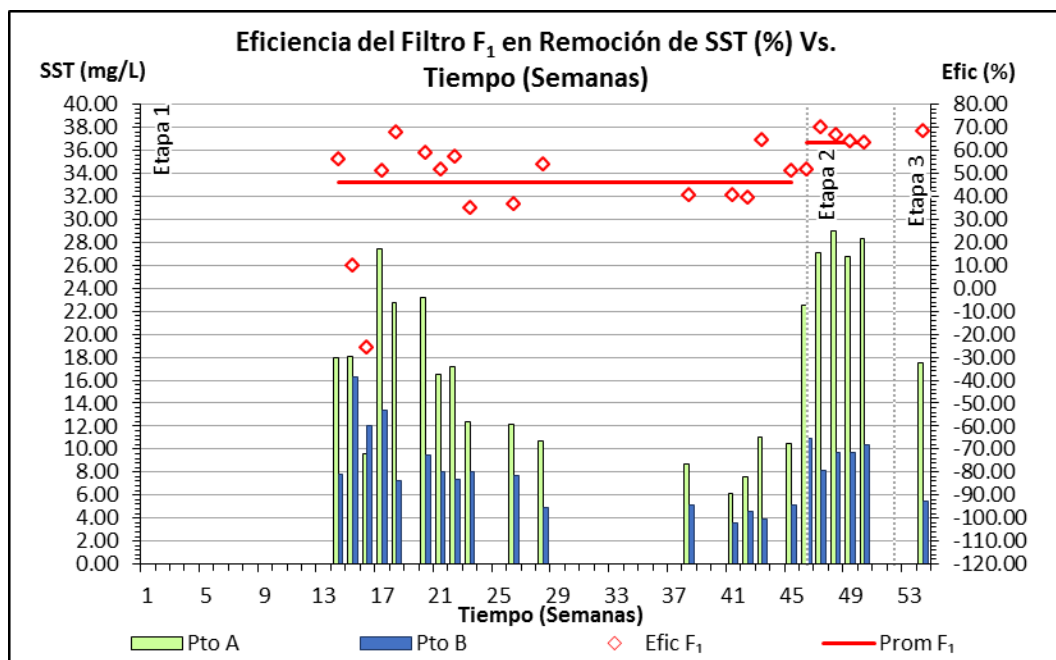
SSV Pto C .- Sólidos Suspendidos Volátiles en el punto de muestreo C  
 Temp Pto C .- Temperatura en el punto de muestreo C

**Gráfico 6.21** SSV y Temperatura Vs. Tiempo (Semanas) en el punto de muestreo C

### 6.1.10. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Los sólidos suspendidos del efluente de los filtros se muestran en los gráficos 6.22, 6.23 y 6.24.

En el filtro F<sub>1</sub> las remociones promedio fueron de 46.27%, 63.64% y 68.57% en cada etapa respectivamente.



Pto. A.- SST en el Pto A

Efic F<sub>1</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de SST

Pto. B.- SST en el Pto B

Prom F<sub>1</sub>.- Valor promedio de eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> por etapas

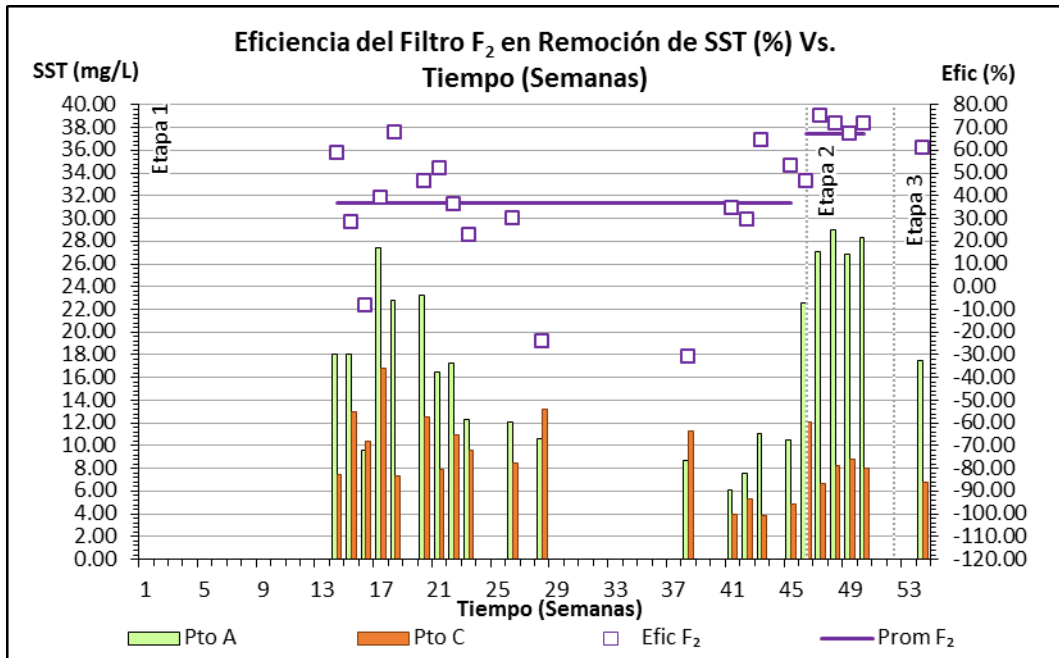
**Gráfico 6.22** Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de SST Vs. Tiempo (Semanas)

En el filtro F<sub>2</sub> las remociones promedio fueron de 36.61%, 67.25% y 61.26% en cada etapa respectivamente.

**Tabla 6.6** Valores Comparativos de SST entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

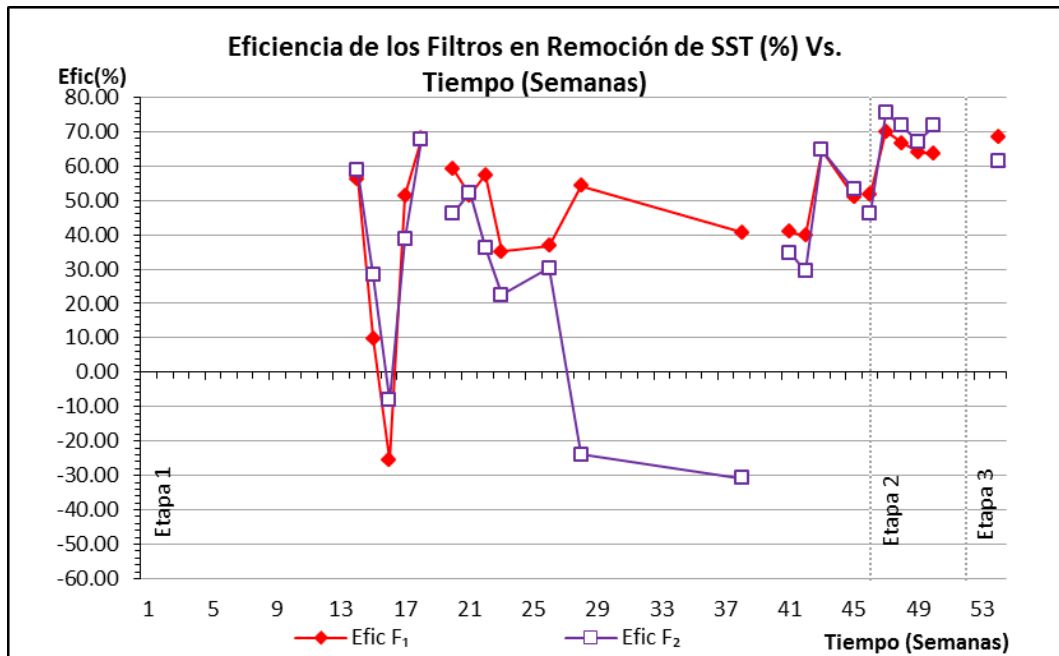
Rango	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>		Filtro F <sub>2</sub>	Eficiencia Filtro F <sub>1</sub> (%)	Eficiencia Filtro F <sub>2</sub> (%)
	Pto. A	Pto. B	Pto. C			
Máximo (mg/l)	29.00	16.33	16.78	70.08	75.41	
Mínimo (mg/l)	6.12	3.63	3.89	-25.58	-30.77	
Promedio (mg/l)	17.41	8.12	8.98	53.35	48.44	

Fuente: Elaboración propia



Pto. A.- SST en el Pto A Efic F<sub>2</sub>- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de SST  
 Pto. C.- SST en el Pto C Prom F<sub>2</sub>- Valor promedio de eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> por etapas

**Gráfico 6.23** Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de SST Vs. Tiempo (Semanas)



Efic F<sub>1</sub>- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de Sólidos Suspendedos Totales.

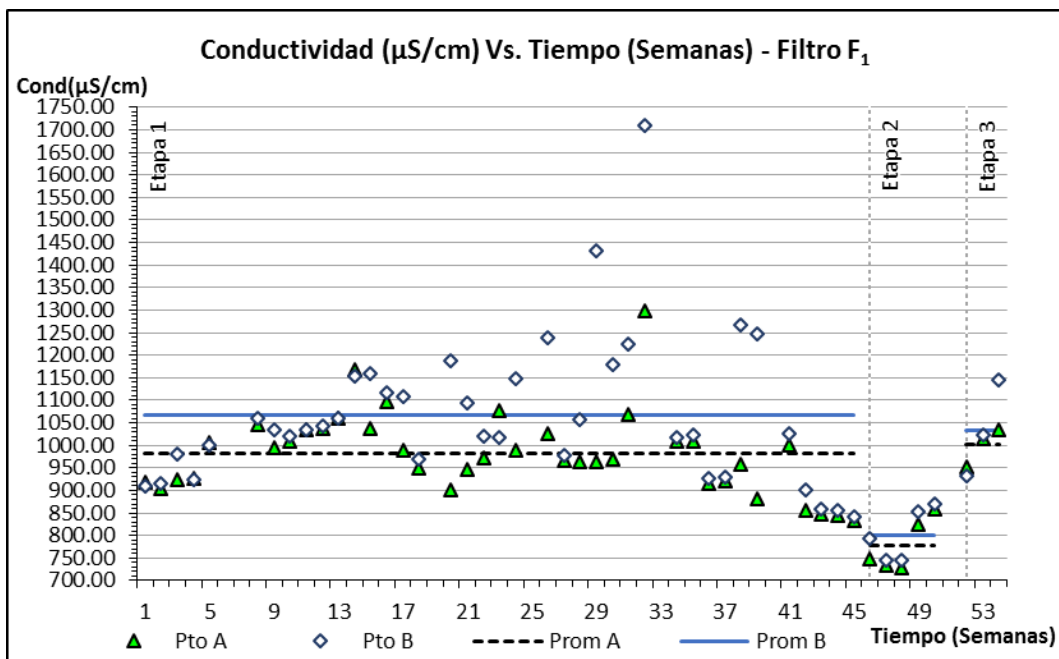
Efic F<sub>2</sub>- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de Sólidos Suspendedos Totales.

**Gráfico 6.24** Eficiencia de los Filtros en remoción de SST Vs. Tiempo (Semana)



### 6.1.11. CONDUCTIVIDAD

En el efluente del Filtro F<sub>1</sub> se observó que en la casi todos los casos la conductividad tuvo valores mayores que el afluente.

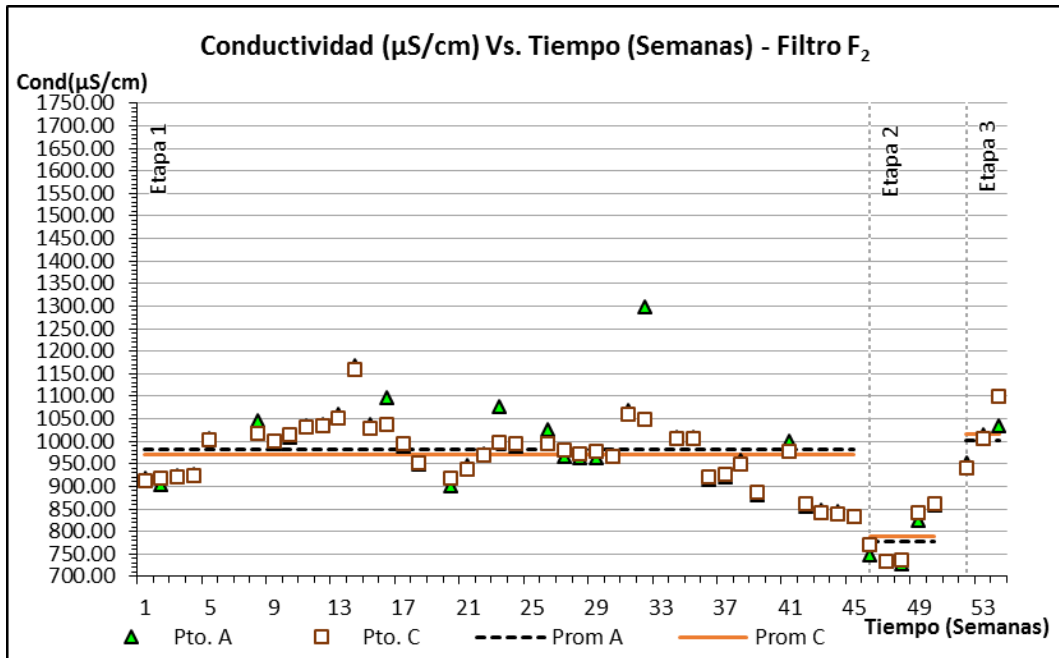


Pto A.- Conductividad en el Pto A    Prom A.- Promedio de Conductividad por etapas en el Pto A  
 Pto B.- Conductividad en el Pto B    Prom B.- Promedio de Conductividad por etapas en el Pto B

**Gráfico 6.25** Conductividad Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F<sub>1</sub>

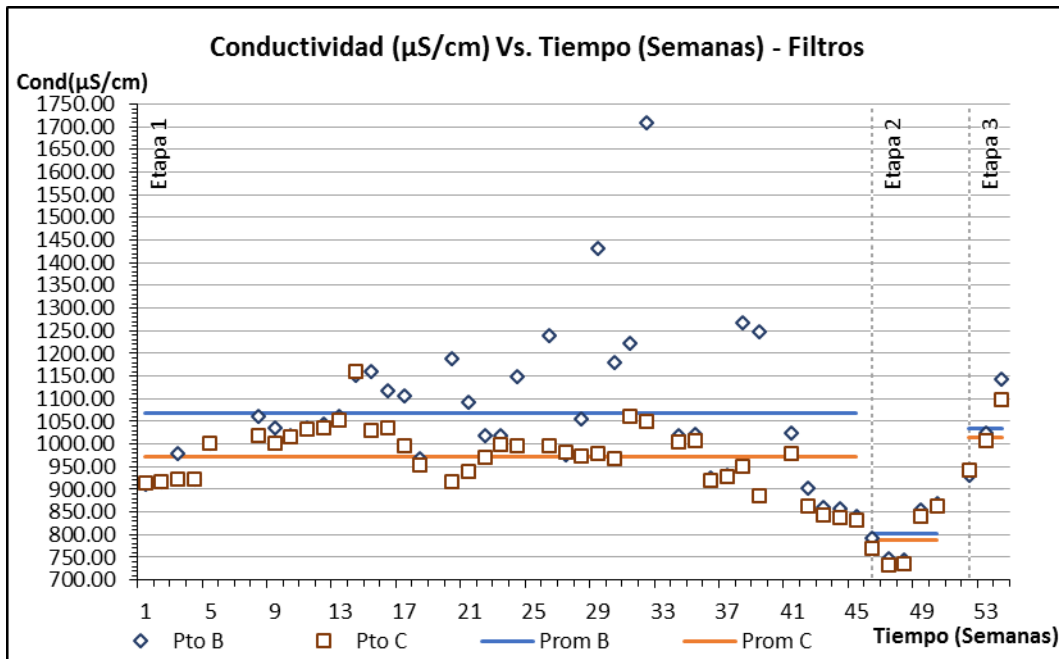
Por el contrario, el comportamiento del filtro F<sub>2</sub> respecto de este parámetro fue que el efluente tenía valores menores al afluente durante varias semanas. En las semanas que el valor del efluente era mayor al del afluente, la diferencia fue menor en comparación a la diferencia con el Filtro F<sub>1</sub>.

En la gráfica 6.25 se observa que la conductividad en el efluente del Filtro F<sub>1</sub> en la mayoría de los casos es mayor a la conductividad en el Filtro F<sub>2</sub>. Ello tiene que ver con la naturaleza del medio de soporte. En el Anexo 4 se analizó el comportamiento de las *Argopecten purpuratus*.



Pto. A.- Conductividad en el Pto A    Prom A.- Promedio de Conductividad por etapas en el Pto A  
 Pto. C.- Conductividad en el Pto C    Prom C.- Promedio de Conductividad por etapas en el Pto C

**Gráfico 6.26** Conductividad Vs. Tiempo (Semanas) en el Filtro F<sub>2</sub>



Pto. B.- Conductividad en el Pto B    Prom B.- Promedio de Conductividad por etapas en el Pto B  
 Pto. C.- Conductividad en el Pto C    Prom C.- Promedio de Conductividad por etapas en el Pto C

**Gráfico 6.27** Conductividad Vs. Tiempo (Semanas) en los Filtros

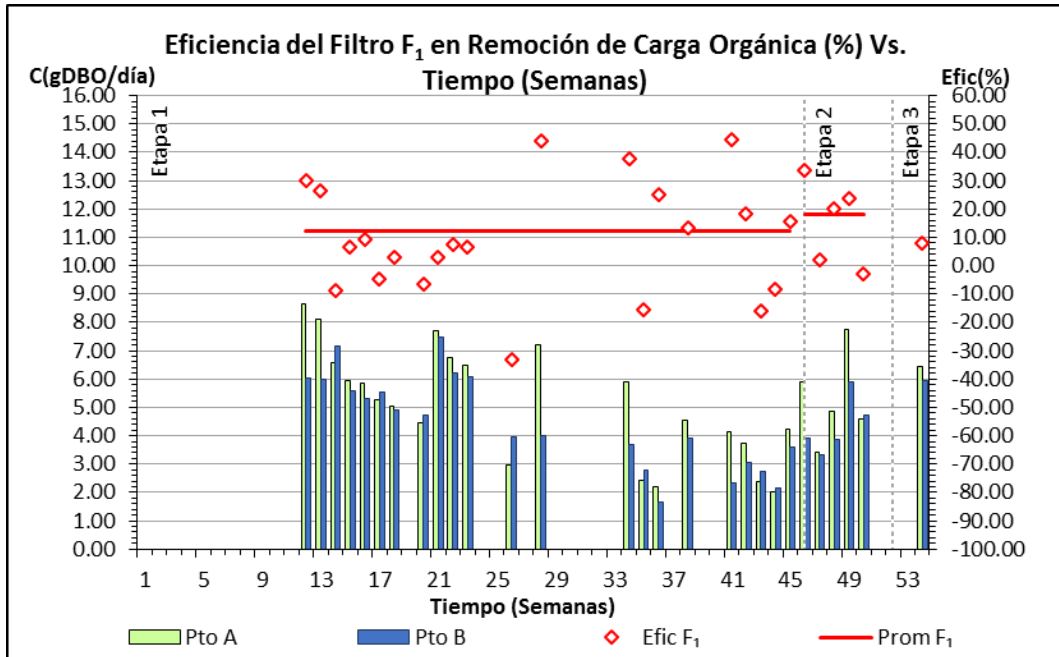
**Tabla 6.7** Valores Comparativos de Conductividad entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

Rango	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Máximo (μS/cm)	1298.0	1709.0	1160.5
Mínimo (μS/cm)	728.5	744.4	734.1
Promedio (μS/cm)	962.2	1037.8	954.9

Fuente: Elaboración propia

**6.1.12. CARGA ORGÁNICA**

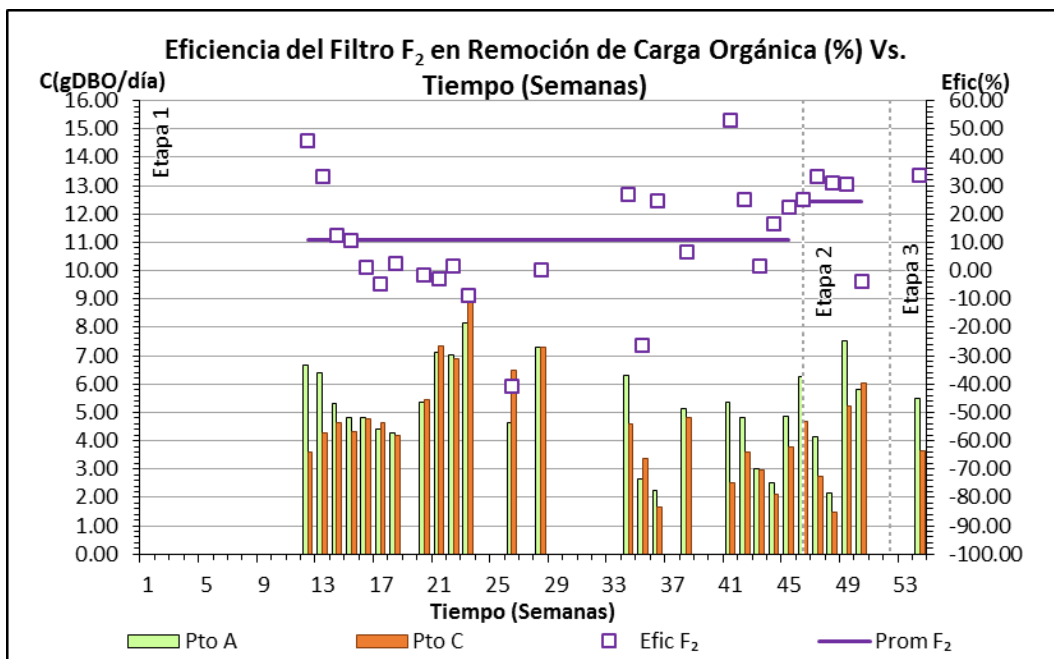
En las gráficas 6.28, 6.29 y 6.30 se muestran los valores promedios semanales y por etapas de Carga Orgánica. Para el Filtro F<sub>1</sub>, en la etapa 1, alcanzó una remoción máxima de 44.37%. En la etapa 2 se obtuvo 33.82% y finalmente 7.97% en la etapa 3.



Pto A.- Carga Orgánica en el Pto A      Efic F<sub>1</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en Remoción de C. Org.  
 Pto B.- Carga Orgánica en el Pto B      Prom F<sub>1</sub>.- Promedio de eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> por etapas

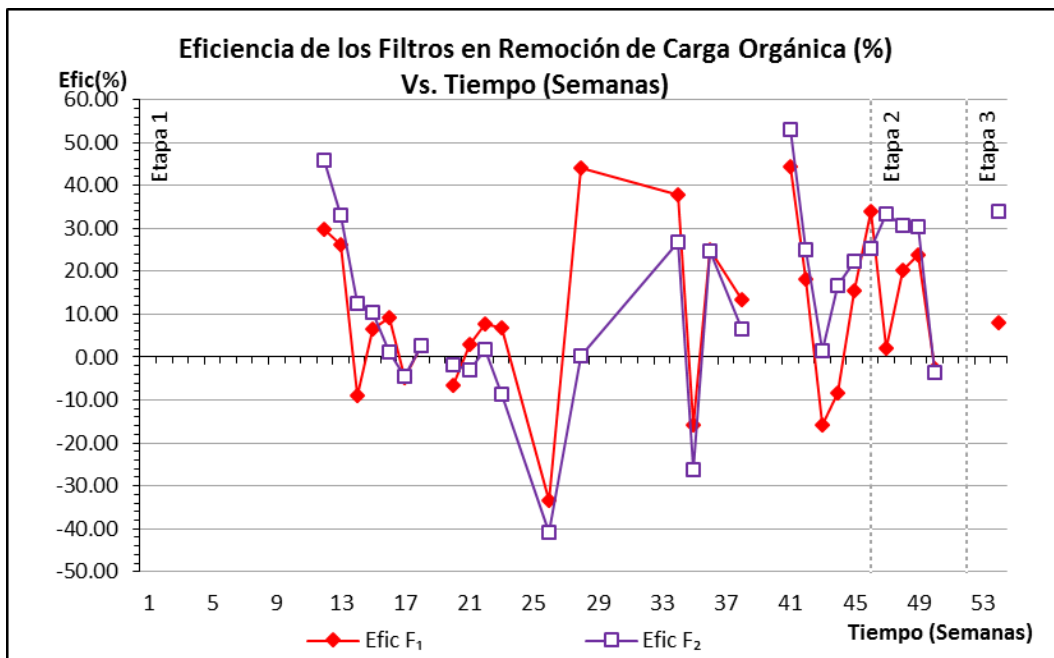
**Gráfico 6.28** Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de Carga orgánica Vs. Tiempo (Semanas)

Para el Filtro F<sub>2</sub>, en la etapa 1 alcanzó una remoción máxima de 53.01%. En la etapa 2 se obtuvo 33.26% y finalmente 33.81% en la etapa 3.



Pto A.- Carga Orgánica en el Pto A      Efic F<sub>2</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en Remoción de C. Org.  
 Pto C.- Carga Orgánica en el Pto C      Prom F<sub>2</sub>.- Promedio de eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> por etapas

**Gráfico 6.29** Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de Carga orgánica Vs. Tiempo (Semanas)



Efic F<sub>1</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de Carga Orgánica.

Efic F<sub>2</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de Carga Orgánica.

**Gráfico 6.30** Eficiencia de los Filtros en remoción de Carga Orgánica Vs Tiempo (Semana)

**Tabla 6.8** Valores Comparativos de Carga Orgánica entre el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub>

Rango	Afluente		Efluentes		Eficiencias	
	Pto. A <sub>1</sub>	Pto. A <sub>2</sub>	Pto. B	Pto. C	Filtro F <sub>1</sub> (%)	Filtro F <sub>2</sub> (%)
Máximo (gDBO/día)	8.59	8.00	7.45	8.70	44.37	53.01
Mínimo (gDBO/día)	2.00	2.14	1.65	1.48	-33.33	-40.86
Promedio (gDBO/día)	5.18	5.10	4.51	4.44	13.03	12.91

*Fuente: Elaboración propia*

### 6.1.13. SOLIDOS SEDIMENTABLES

Los efluentes de los Filtros se vertían en sedimentadores para evaluar la cantidad de solidos sedimentables tras determinada cantidad de días. Para evitar la formación de algas se forró de negro las cajas de plástico de 10 litros acondicionadas para los sedimentadores tal como se muestra en la fotografía 6.1.



**Fotografía 6.1** Sedimentadores



**Fotografía 6.2** Sedimento acumulado en sedimentador de efluente de Filtro F<sub>1</sub>

Una vez limpias se procedió a verter los efluentes de los filtros en los sedimentadores. Al concluir los periodos determinados se vertió

en baldes el contenido de los sedimentadores y hora tras hora se vertía en los conos Imhoff como se observa en la fotografía 6.3. La suma de estos sedimentos se observan en la tabla 6.8

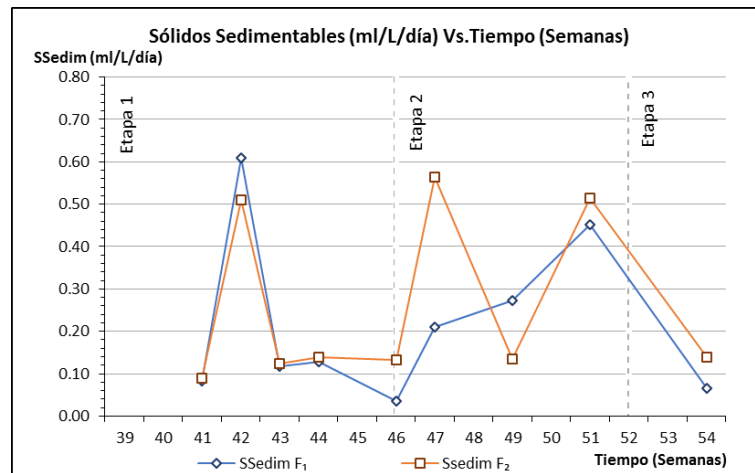


**Fotografía 6.3** Medición de sólidos sedimentables

**Tabla 6.9** Sólidos sedimentables en efluente de filtros.

Sólidos Sedimentables (ml/L.día)				
Inicio	Fin	Nº Días	Sedimentador F <sub>1</sub>	Sedimentador F <sub>2</sub>
12/02/2018	26/02/2018	14	0.08	0.09
26/02/2018	02/03/2018	4	0.61	0.51
02/03/2018	09/03/2018	7	0.12	0.12
09/03/2018	16/03/2018	7	0.13	0.14
16/03/2018	26/03/2018	10	0.04	0.13
16/03/2018	02/04/2018	7	0.21	0.56
02/04/2018	18/04/2018	16	0.27	0.13
18/04/2018	04/05/2018	16	0.45	0.51
04/05/2018	21/05/2018	17	0.07	0.14

Se observó que en la mayoría de los casos los valores de sólidos sedimentables son mayores en el efluente del Sedimentador 2 que en el del Sedimentador 1.



SSedim F<sub>1</sub>.- Sólidos Sedimentables en el Efluente del Filtro F<sub>1</sub>

SSedim F<sub>2</sub>.- Sólidos Sedimentables en el Efluente del Filtro F<sub>2</sub>

**Gráfico 6.31** Sólidos Sedimentables Vs. Tiempo (Semanas) en efluente de los filtros.

## 6.2. DEL CUMPLIMIENTO DEL MARCO LEGAL

Después de evaluar los resultados de los parámetros medidos en los filtros anaerobios de flujo ascendente de *Argopecten purpuratus* y piedra chancada como medios de soporte; se compararon con el marco legal vigente en Perú.

### 6.2.1. REFERENTE A LOS ECA

- En el efluente del Filtro F<sub>1</sub> se encontró que la medida de pH mínima fue de 6.96, la máxima 7.90 y la promedio 7.34. Así también en el Filtro F<sub>2</sub> se encontró la mínima fue de 6.94, la máxima 7.86 y la promedio 7.33. Por lo tanto, todos los valores han oscilado en el rango normado en los ECA que va desde 6.5 hasta 8.5.
- En el efluente del Filtro F<sub>1</sub> se encontró que la medida de la conductividad mínima fue de 744.4  $\mu\text{S/cm}$ , la máxima de 1709.0  $\mu\text{S/cm}$  y la promedio de 1037.8  $\mu\text{S/cm}$ . En tanto que el Filtro F<sub>2</sub> aportaba un efluente con conductividad mínima de 734.1  $\mu\text{S/cm}$ , máxima de 1160.5  $\mu\text{S/cm}$  y promedio de 954.9  $\mu\text{S/cm}$ . Es por ello que la conductividad de los efluentes de los Filtros está por debajo del estándar establecido como máximo en 2500  $\mu\text{S/cm}$ .

- Dentro de los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el efluente del Filtro F<sub>1</sub> se encontró el valor mínimo de 22.69 mg/l, el máximo de 116.75 mg/l y el promedio de 65.16 mg/l. Mientras que en el efluente del Filtro F<sub>2</sub> el mínimo fue de 22.8 mg/l, el máximo de 98.93 mg/l y el promedio de 63.12 mg/l. En los ECA está establecido un valor máximo de 15 mg/l, por lo tanto los efluentes de los filtros no satisfacen el estándar de calidad en este parámetro.

### **6.2.2. REFERENTE A LOS LMP**

- En el efluente del Filtro F<sub>1</sub> se encontró que la medida de pH mínima fue de 6.96, la máxima 7.90 y la promedio 7.34. Así también en el Filtro F<sub>2</sub> se encontró la mínima fue de 6.94, la máxima 7.86 y la promedio 7.33. Por lo tanto, todos los valores han oscilado en el rango normado en los LMP que va desde 6.5 hasta 8.5.
- Dentro de los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el efluente del Filtro F<sub>1</sub> se encontró el valor mínimo de 22.69 mg/l, el máximo de 116.75 mg/l y el promedio de 65.16 mg/l. Mientras que en el efluente del Filtro F<sub>2</sub> el mínimo fue de 22.8 mg/l, el máximo de 98.93 mg/l y el promedio de 63.12 mg/l. En los LMP está establecido un valor máximo de 100 mg/l, por lo tanto los efluentes de los filtros satisfacen el estándar de calidad en este parámetro a excepción del efluente del Filtro F<sub>1</sub> en la semana 54.
- Los sólidos suspendidos totales (SST) en el efluente del Filtro F<sub>1</sub> tuvo el valor mínimo de 3.63 mg/l, el máximo de 16.33 mg/l y promedio de 8.12 mg/l. En el efluente del Filtro F<sub>2</sub> se encontró el mínimo de 3.89 mg/l el máximo de 16.78 mg/l y el promedio de 8.98 mg/l. El LMP es de 150 mg/l por lo que los efluentes están dentro del rango establecido.



## 7. CAPÍTULO VII.

### CONCLUSIONES

1. A diferencia de lo planteado en la hipótesis, la eficiencia de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente con medio de soporte de *Argopecten purpuratus* es menor en 2.13% que la eficiencia de remoción en el filtro con medio de soporte de Piedra Chancada.
2. En las semanas 16, 18, 22, 28, 34, 36, 38, y 46, se observó que la remoción de DBO en el Filtro F<sub>1</sub> fue mayor que en el Filtro F<sub>2</sub> cumpliéndose parcialmente la hipótesis en esas semanas. El máximo valor fue de 44.05% en la semana 28.
3. El *Argopecten purpuratus*, como medio de soporte, tiene una porosidad de 85.34% y la piedra chancada de 10.29%. Siendo el primero de estos el idóneo para evitar una posible colmatación con el paso del tiempo y una disminución de la eficiencia de remoción de los filtros.
4. El porcentaje de peso de biofilm adherido a un componente del medio de soporte, con respecto al peso de este, fue de 10.81% y de 2.43% en los Filtros F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> respectivamente. Ello debido a que el área específica promedio del *Argopecten purpuratus* es mayor que el de un componente de la piedra chancada.
5. Se demuestra que cada valva de *Argopecten purpuratus* utilizada en el estudio tiene un área específica promedio de 79.68cm<sup>2</sup> por unidad; y como medio filtrante 232.91m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Ello evidencia que dicho material puede ser usado como medio de soporte para esta tecnología de tratamiento debido a su gran área específica para el crecimiento del biofilm, en comparación a la grava de río (ver Tabla 4.1) la cual tiene un área específica de 189m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>..

6. La eficiencia de remoción de turbiedad en el Filtro  $F_1$  y  $F_2$  fue en promedio de 49.78% y 19.58% respectivamente. Además llegaron a una eficiencia de remoción de 81.06% y 76.01% durante la semana 54, durante la etapa 3; etapa en la cual el afluente de los filtros provenía de una muestra diluida del camal. Por lo que se demuestra que los Filtros se adaptaron al afluente de origen industrial para un tratamiento primario.
7. El promedio semanal de temperaturas y de turbiedad en los efluentes de los filtros guardaron una relación relativamente inversa porque cuando la curva de temperatura descendía, la turbiedad aumentaba y viceversa. Esto sucedió posiblemente porque la muestra almacenada en el tanque mezclador hasta por 48h es tiempo suficiente para generar un pretratamiento al afluente de los filtros.
8. La variación de los valores semanales de turbiedad en el efluente del Filtro  $F_1$  es mayor en una proporción de 51%, 94% y 287.1% en las tres etapas, respectivamente en comparación con el Filtro  $F_2$ .
9. La eficiencia de remoción de SSV en el Filtro  $F_1$  y  $F_2$  fue en promedio de 51.72% y 44.52% respectivamente. Además llegaron a una eficiencia de remoción de 70.51% y 72.38% durante la semana 47, durante la etapa 2. Por lo que se demuestra que los Filtros se adaptaron al afluente de origen doméstico para un tratamiento primario.
10. Se comprobó el contenido de carbonatos en las *Argopecten purpuratus* debido al creciente aumento de la conductividad hasta la semana 32. En el efluente del Filtro  $F_1$  por lo general fue mayor la conductividad que en el efluente del Filtro  $F_2$ .

11. Se comprobó que el valor en promedio de sólidos sedimentables del efluente del Filtro  $F_2$  fue mayor que del Filtro  $F_1$  en una proporción promedio de 18.9%. Lo cual puede significar que hubo un desprendimiento mayor de biofilm en el Filtro  $F_2$ .

## 8. CAPÍTULO VIII.

### RECOMENDACIONES

1. Se recomienda diseñar el sistema considerando la porosidad de los medios de soporte. Las normas revisadas no consideraban esto, sin embargo es necesario por la diferencia de volúmenes que se presentan en los Filtros estudiados.
2. Instalar una tee y un niple de 10 cm para evacuar el efluente de los filtros, similar al que existe en las trampas de grasa, de manera que se retire a presión fácilmente para su limpieza diaria. Evitando así obturación con grasa y fuga en el accesorio de salida.
3. Debido a los cortes de energía que se presentaban sin previo aviso por Edelnor y otros cortes programados debido a los trabajos de construcción en la planta, en esas ocasiones no se pudo bombear el efluente del TS-UASB. Por ello, para evitar que se quede sin alimentación se bombeó para que se pueda abastecer los filtros hasta por 48 horas.
4. Triturar las *Argopecten purpuratus* para que exista menor cantidad de espacios vacíos y mayor área superficial. Tamizar para homogenizar los tamaños utilizados y así poder comparar en condiciones similares con otros materiales a ser estudiados como medio de soporte.
5. Para analizar la degradación de las *Argopecten purpuratus* se debe utilizar un recipiente con mayor capacidad de volumen para usarlo como reactor batch y poder retirar muestra para su análisis evitando ingresar oxígeno al sistema.
6. De preferencia utilizar una bomba peristáltica para este tipo de sistema para evitar variaciones de caudal y paradas del sistema.

7. Para evitar problemas de filtración en los nipples de ingreso, es preferible usar un tapón de diámetro igual a la tubería y apoyado sobre una superficie plana.
  
8. Se recomienda realizar futuras investigaciones que incluyan los siguientes contenidos:
  - a. Colocar un sistema de calentamiento para que los filtros estén en rangos de temperaturas óptimos para el crecimiento de microorganismos.
  - b. Investigar el filtro de *Argopecten purpuratus* con afluentes provenientes de efluentes industriales ácidos, para estudiar su capacidad buffer.
  - c. Investigar filtros anaerobios de flujo ascendente con medio de soporte de otras especies de conchas marinas.
  - d. Investigar filtros en paralelo a diferentes tiempos de retención hidráulica para aportar valores de coeficientes del sistema ( $S_K$ ) y coeficientes del medio de soporte ( $m$ ). Así mismo, investigar filtros en paralelo a diferentes temperaturas y mayores e iguales a  $30^{\circ}\text{C}$  para aportar valores de coeficientes de temperatura ( $\theta$ ), según lo planteado por Young, y que aportaría al diseño en escala real.
  - e. Investigar con filtros en serie para emplear menor altura y mayor diámetro de cada filtro, para así tener menor pérdida de carga y obtener una carga hidráulica superficial, recomendada en la bibliografía documentada.

## 9. CAPÍTULO IX.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alamo, V. & Valdivieso, V. (1997). Lista sistemática de moluscos marinos del Perú (segunda edición revisada y actualizada). Bol. Inst. Mar del Peru. 183 pp. Tomado de: <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe:8080/bitstream/handle/123456789/1436b/LISTA%20SISTEMATICA%20DE%20MOLUSCO.pdf?sequence=1> Último acceso 03-01-2017.

ASIA - Asociación Salvadoreña de Ingeniería y Arquitectos (2015). Propuesta del Reglamento Técnico Salvadoreño para el diseño y construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario para la zona rural. San Salvador, El Salvador. Tomado de: <http://www.paho.org/els/dmdocuments/BORRADOR%20TRATAMIENTO%20AGUAS%20RESIDUALES%20V-6.pdf%20> Último acceso 28-11-2016.

Barnes R. & Ruppert E. (1996). Zoología de los invertebrados. 5. ed. México. Interamericana, McGraw-Hill. 957 p. México.

Bear J. (1988). Dynamics of fluids in porous media. New York. Dover Publications, Inc. 764 p. New York, USA.

Bitton G. (2005). Wastewater Microbiology, Tercera Edición. Tomado de: <https://www.pdfdrive.com/wastewater-microbiology-gabriel-bitton-e33471181.html> Último acceso 22-04-2019.

Caldera M., Choza M., Ocampo M., Vivas E., Sandoval E., Martínez R., Sandoval J., Caldera E., Arana G., Martínez S. & Baldizón M. (2006). Norma técnica obligatoria nicaragüense para regular los sistemas de tratamientos de aguas residuales y su reuso. Managua, Nicaragua. Tomado de: [http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/3B3583B8C7D4EE32062579BC007B7023?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/3B3583B8C7D4EE32062579BC007B7023?OpenDocument). Último acceso: 28-11-2016.

Cárdenas G. & Ramos R. (2008). Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. Revista científica Ciencia e Ingeniería Neogranadina. San Juan de Pasto, Colombia. Tomado de: [http://www.umng.edu.co/documents/10162/49387/wsd\\_articulo\\_\\_2\\_19\\_\\_1.pdf](http://www.umng.edu.co/documents/10162/49387/wsd_articulo__2_19__1.pdf). Último acceso: 28-11-2016.

Cavero P. & Rodríguez P. (2008). Producción sostenida de moluscos bivalvos en el Perú: acuicultura y redoblamiento. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 209–218. Tomado de: <http://www.fao.org/3/a-i0444s/i0444s17.pdf> Último acceso: 28-11-2016.

Chernicharo C. (1996). Principios do tratamento biológico de águas residuárias. Reatores anaeróbios, volumen 5. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, Brasil.

Cordoba A. & Salas D. (1996). Tratamiento de las aguas residuales de la pequeña industria de extracción de almidón de yuca utilizando un biofiltro anaerobio con lecho de paja. Tesis, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Cali, Colombia.

Echevarría J. (2015). Protocolo de Tesis: Periodo de arranque del sistema de tratamiento anaerobio primario mediante un reactor UASB tipo tanque séptico a escala real. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

GL Yoon, BT Kim, BO Kim & SH Han (2002). Chemical–mechanical characteristics of crushed oyster-shell. Tomado de: [https://www.researchgate.net/publication/5399158\\_Chemical-mechanical\\_characteristics\\_of\\_crushed\\_oyster-shell](https://www.researchgate.net/publication/5399158_Chemical-mechanical_characteristics_of_crushed_oyster-shell) Último acceso: 22-04-2019

Guajardo F. (2005). Proyecto de Titulación Modulo Balsa Polifuncional para faenas acuícolas. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. Tomado de: <http://dcu.jbarahona.com/icuevas/pags/indexmitr.html> Último acceso: 28-11-2016.

Guevara, L. & Castro, G. (2018). Diseño de planta para la producción de carbonato de calcio a partir de la concha de abanico (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Piura, Perú. Tomado de: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3462/ING\\_596.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3462/ING_596.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Último acceso: 21-11-2018

van Haandel A. & Lettinga G. (1994) Tratamiento Anaeróbico de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande, Brasil

Mendo, J., Wolff, M., Carbajal, W., Gonzáles, I. & Badjeck, M. (2008). Manejo y explotación de los principales bancos naturales de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la costa Peruana. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. FAO Actas de Pesca y Acuicultura. No. 12. Roma, FAO. pp. 107.

Metcalf & Eddy (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4ta. edición,

MinDesarrollo-Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS. Bogota D.C., Colombia. Tomado de: [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf) Último acceso 28-11-2016



Molina J. (1782) Saggio sulla Storia Naturale de Chili. Bolonia, Italia. Tomado de: <http://www.fao.org/fishery/species/3533/en> Último acceso 28-11-2016.

MVCS - Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). Guía de Opciones Tecnológicas para Sistemas de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y Saneamiento Rural. Lima, Perú. Tomado de: [http://perseo.vivienda.gob.pe/Documentos\\_resoluciones/Emitidos/RM-173-2016-VIVIENDA.pdf](http://perseo.vivienda.gob.pe/Documentos_resoluciones/Emitidos/RM-173-2016-VIVIENDA.pdf). Último acceso 28-11-2016.

MVCS - Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2006). IS.020: Tanques Sépticos. Lima, Perú. Tomado de: [http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/IS.020.pdf](http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/IS.020.pdf). Último acceso 28-11-2016.

MVCS - Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2006). OS.090: Plantas de tratamiento de aguas residuales. Lima, Perú. Tomado de: [http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf). Último acceso 28-11-2016.

Osorio C. (1979). Moluscos marinos de importancia económica en Chile. Biol. Pesq. Chile, (11): 3-47.

Paredes D., Guerrero J. & Castaño, J. (2006). Variaciones al sistema Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente - Humedal de flujo subsuperficial como alternativa de tratamiento de aguas residuales de pequeños y medianos municipios de Colombia. Proyecto investigación UTP. Risaralda, Colombia. Tomado de: <http://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/viewFile/6031/6019>. Último acceso 28-11-2016.

Paz H., Lozano E., Ortiz S., Valverde J. & Cortés H. (2005) Obtención de carbonato de calcio de conchas de piangua. Tomado de:

[https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/117/254](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/117/254).

Último acceso 08-04-2019.

Pérez J. (1992) Texto "Análisis de flujos y factores que determinan los periodos de retención" revisado por el Ing. Víctor Maldonado Yactayo, publicado en CEPIS/OPS, Manual de evaluación. Tomo II, Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, CEPIS/OPS. Tomado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/capitulo2.pdf>

Último acceso 13-04-19

Pinto J. & Chernicharo C. (1996). Escória de altoforno. Una nova alternativa de meio suporte para filtros anaeróbios. In: Anais do III simposio Ítalo – Brasileiro de Engenharia Sanitaria e ambiental. Gramado, Brasil.

Rodriguez J. (2005) Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Tomado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>. Último acceso 19-11-2018.

Saavedra, J. (2016). Interacción de la concha de abanico triturada con los agregados triturados y redondeados en mezclas de concreto (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú. Tomado de: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2582/ICI\\_222.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2582/ICI_222.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Último acceso: 22-04-2019

von Sperling & Chernicharo (2005) Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions Tomado de: <https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/9781780402734.pdf> Último acceso: 22-04-2019

Torres P., Rodríguez J. & Uribe I. (2003) Tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca en filtro anaerobio: influencia del medio de soporte. *Scientia et Technica* Año IX, N° 23. Cali, Colombia. Tomado de: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/download/7393/4389>. Último acceso 28-11-2016.

Trausel J. & Slieker F. (1987). Fotografía de *Choromytilus chorus*. Museo de Historia Natural de Rotterdam, Holanda. Tomado de: <http://www.marinespecies.org/photogallery.php?album=700&pic=65749>. Último acceso 28-11-2016.

Trausel J. & Slieker F. (1987). Fotografía de *Argopecten purpuratus*. Museo de Historia Natural de Rotterdam, Holanda. Tomado de: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=image&pic=62102&tid=394269>. Último acceso 28-11-2016.

Villanueva J., Gómez J., Vázquez R., Nájera H., Roblero N. & Hernández E. (2012). Evaluación de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en dos biofiltros con diferentes empaques. *Revista científica Lacandonia*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México. Tomado de: <http://cuid.unicach.mx/revistas/index.php/lacandonia/article/download/142/133>. Último acceso 19-09-2016.

Winkler M. (1999). Tratamiento biológico de aguas de desecho. Limusa, México, D.F., México. pp. 192-193.

Young J.C. (2000). Factor affecting the design and performance of upflow anaerobic filters. University of Arkansas. Fayetteville, USA.

## 10. CAPÍTULO X.

### ANEXOS

#### 10.1. ANEXO N° 1: MARCO LEGAL

##### **A) LEY GENERAL DE LA SALUD:**

Artículo 96° y 104° Los residuos procedentes de establecimientos donde se manipulen sustancias o productos peligrosos, deben ser sometidos a tratamiento y disposición que señalan las normas correspondientes. Estos residuos no deben ser vertidos directamente a fuentes, cursos o reservorios de agua, bajo responsabilidad.

Toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, aire, suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del medio ambiente.

##### **B) LEY GENERAL DEL AMBIENTE: LEY N° 28611**

##### **Artículo 29° De las normas transitorias de calidad ambiental de carácter especial.**

La autoridad ambiental nacional en coordinación con sus autoridades competentes, pueden dictar las normas ambientales transitorias, de aplicación específica en zonas ambientalmente críticas o afectadas por desastres, con el propósito de contribuir a su recuperación o superar las situaciones de emergencia. Su establecimiento, no excluye la aprobación de otras normas, parámetros, guías o directrices, orientados a prevenir el deterioro ambiental, proteger la salud o la conservación de los recursos naturales y la diversidad biológica y no altera vigencia de los ECA y LMP que sean aplicables.

##### **Artículo 31° Del estándar de calidad ambiental**

El estándar de calidad ambiental-ECA, es la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias, parámetros físicos,

químicos, biológicos, presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresado en máximos, mínimos o rangos. Es obligatorio en el diseño de normas legales y políticas públicas.

#### **Artículo 32° Del límite máximo permisible**

El límite máximo permisible (LMP), es la medida de la concentración del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generados que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no exceda la capacidad de carga de los ecosistemas.

#### **Artículo 120° De la protección de la calidad de aguas**

El estado, a través de las entidades señaladas en la ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país; promueve el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reusó, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

#### **Artículo 121° Del vertimiento de aguas residuales**

El estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas domésticas, industriales o cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de aguas como cuerpo receptor, ni que se afecte la reutilización para otros fines, de acuerdo a los establecido en los estándares de calidad ambiental correspondientes y normas legales vigentes.

**Artículo 122° Del tratamiento de residuos líquidos**

Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

**C) ESTANDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA:  
DECRETO SUPREMO N° 004-2017 MINAM**

El ministerio del ambiente dictará las normas para la implementación de los estándares de calidad ambiental para el agua, como instrumentos de gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso. (Ver tabla N° 10.1)

**Tabla 10.1 Estándares de Calidad Ambiental - Categoría 3**  
**CATEGORIA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES**

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	$\geq 4$		$\geq 5$
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$		$\Delta 3$
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>Bifenilos Policlorados</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	$\mu$ g/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	$\mu$ g/L	35		35
<b>Organoclorados</b>				
Aldrin	$\mu$ g/L	0,004		0,7
Clordano	$\mu$ g/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	$\mu$ g/L	0,001		30
Dieldrin	$\mu$ g/L	0,5		0,5
Endosulfán	$\mu$ g/L	0,01		0,01
Endrin	$\mu$ g/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	$\mu$ g/L	0,01		0,03
Lindano	$\mu$ g/L	4		4
<b>Carbamato</b>				
Aldicarb	$\mu$ g/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminthos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

$\Delta 3$ : significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**D) LIMITES MAXIMO PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR DOMESTICAS O MUNICIPALES: DECRETO SUPREMO N° 003-2010 MINAM**

**Artículo 1 °**

Con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en los efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente, el Ministerio del Ambiente público en el diario el peruano el decreto supremo N° 003-2010.MINAM, por el cual se aprueban los limites máximo permisibles

**Artículo 3°**

Sobre el cumplimiento de los LMP de efluentes de PTAR, sostiene que estos niveles (LMP) no se aplicará a las PTAR que cuenten con un tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario con disposición final a través de emisario submarino.

**Tabla 10.2** Límites máximo permisibles para efluentes de una PTAR

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS</b>
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	200
pH	unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/l	150
Temperatura	°C	< 35



## 10.2. ANEXO N° 2: RESULTADOS OBTENIDOS POR SEMANAS

**Tabla 10.3** Resultados obtenidos durante la semana N° 01

Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.32	7.31	7.44
Temperatura	°C	24.00	23.20	23.60
Conductividad	μS/cm	917.80	910.10	913.00
Turbiedad	UNT	126.00	39.80	81.90
Temperatura Ambiental	°C	-		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.4** Resultados obtenidos durante la semana N° 02

Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	6.90 ± 0.12	7.05 ± 0.10	7.12 ± 0.07
Temperatura	°C	22.27 ± 0.42	21.99 ± 0.29	22.19 ± 0.47
Conductividad	μS/cm	905.43 ± 12.50	916.29 ± 16.23	917.16 ± 11.77
Turbiedad	UNT	94.57 ± 22.90	54.01 ± 9.60	100.57 ± 9.67
Temperatura Ambiental	°C	-		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.5** Resultados obtenidos durante la semana N° 03

Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.02 ± 0.14	7.12 ± 0.15	7.10 ± 0.13
Temperatura	°C	20.25 ± 0.59	19.93 ± 0.57	19.88 ± 0.51
Conductividad	μS/cm	924.61 ± 18.88	980.36 ± 86.26	922.23 ± 15.51
Turbiedad	UNT	72.56 ± 26.08	31.62 ± 20.51	57.93 ± 17.13
Temperatura Ambiental	°C	-		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.6** Resultados obtenidos durante la semana N° 04

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.21 ± 0.11	7.24 ± 0.15	7.27 ± 0.11
Temperatura	°C	20.41 ± 0.62	20.05 ± 0.48	20.00 ± 0.59
Conductividad	μS/cm	926.85 ± 16.51	923.16 ± 10.31	922.93 ± 9.25
Turbiedad	UNT	92.76 ± 26.63	25.75 ± 5.70	51.60 ± 19.54
Temperatura Ambiental	°C	-		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.7** Resultados obtenidos durante la semana N° 05

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.23 ± 0.08	7.18 ± 0.14	7.23 ± 0.11
Temperatura	°C	20.59 ± 1.51	20.13 ± 1.28	20.06 ± 1.26
Conductividad	μS/cm	1007.19 ± 10.07	1000.91 ± 10.82	1003.14 ± 15.27
Turbiedad	UNT	121.87 ± 37.79	67.13 ± 39.50	102.67 ± 67.15
Temperatura Ambiental	°C	-		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.8** Resultados obtenidos durante la semana N° 08

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.15 ± 0.09	7.18 ± 0.13	7.25 ± 0.18
Temperatura	°C	19.59 ± 1.14	19.36 ± 1.05	19.33 ± 0.95
Conductividad	μS/cm	1047.15 ± 99.34	1061.30 ± 72.15	1018.82 ± 21.80
Turbiedad	UNT	98.29 ± 27.81	56.68 ± 20.72	80.08 ± 61.77
Temperatura Ambiental	°C	19.39 ± 1.40		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.9** Resultados obtenidos durante la semana N° 09

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.16 ± 0.14	7.01 ± 0.16	7.11 ± 0.13
Temperatura	°C	18.80 ± 0.86	18.45 ± 0.77	18.49 ± 0.82
Conductividad	μS/cm	995.58 ± 11.68	1034.38 ± 64.89	1001.21 ± 10.96
Turbiedad	UNT	133.48 ± 36.45	61.88 ± 25.74	76.78 ± 29.00
Temperatura Ambiental	°C	19.14 ± 1.46		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.10** Resultados obtenidos durante la semana N° 10

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.44 ± 0.11	7.35 ± 0.19	7.43 ± 0.12
Temperatura	°C	18.82 ± 1.62	18.30 ± 1.33	18.23 ± 1.32
Conductividad	μS/cm	1008.61 ± 31.86	1019.97 ± 23.66	1015.85 ± 22.79
Turbiedad	UNT	96.31 ± 27.85	48.67 ± 24.53	48.24 ± 19.25
Temperatura Ambiental	°C	18.63 ± 1.88		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.11** Resultados obtenidos durante la semana N° 11

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.55 ± 0.36	7.40 ± 0.33	7.45 ± 0.27
Temperatura	°C	18.71 ± 0.72	18.39 ± 0.59	18.40 ± 0.70
Conductividad	μS/cm	1034.71 ± 12.49	1034.57 ± 14.95	1032.00 ± 11.47
Turbiedad	UNT	106.56 ± 30.14	24.97 ± 7.42	40.50 ± 15.88
Temperatura Ambiental	°C	19.01 ± 0.94		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.12** Resultados obtenidos durante la semana N° 12

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.13 ± 0.17	7.01 ± 0.13	7.13 ± 0.11
Temperatura	°C	19.40 ± 1.80	18.93 ± 1.53	18.80 ± 1.54
Conductividad	μS/cm	1037.22 ± 13.64	1044.11 ± 7.51	1035.67 ± 9.35
Turbiedad	UNT	98.67 ± 41.71	50.69 ± 29.22	53.50 ± 24.55
Temperatura Ambiental	°C	19.43 ± 2.76		
Humedad Relativa	%	-		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	98.45	69.05	53.28
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	8.59	6.03	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	6.54	-	3.54

**Tabla 10.13** Resultados obtenidos durante la semana N° 13

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.20 ± 0.23	7.19 ± 0.40	7.25 ± 0.32
Temperatura	°C	18.26 ± 0.97	17.95 ± 0.95	17.86 ± 0.95
Conductividad	μS/cm	1060.20 ± 25.68	1061.10 ± 29.66	1052.50 ± 30.32
Turbiedad	UNT	132.86 ± 21.68	46.40 ± 23.66	76.26 ± 34.13
Temperatura Ambiental	°C	18.21 ± 1.30		
Humedad Relativa	%	75.00		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	93.27	68.82	62.45
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	8.07	5.96	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	6.25	-	4.19

**Tabla 10.14** Resultados obtenidos durante la semana N° 14

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	6.99 ± 0.40	6.96 ± 0.48	7.09 ± 0.44
Temperatura	°C	18.12 ± 1.14	17.75 ± 1.05	17.65 ± 0.89
Conductividad	μS/cm	1166.60 ± 83.26	1153.00 ± 94.83	1160.50 ± 111.41
Turbiedad	UNT	-	-	-
Temperatura Ambiental	°C	17.92 ± 1.68		
Humedad Relativa	%	83.20 ± 6.02		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	76.23	83.04	66.74
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	18.00	7.86	7.43
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	1.00	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	17.00	7.86	7.43
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	6.55	7.13	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.20	-	4.55

**Tabla 10.15** Resultados obtenidos durante la semana N° 15

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.25 ± 0.48	7.32 ± 0.53	7.34 ± 0.48
Temperatura	°C	17.42 ± 1.17	17.32 ± 1.14	17.08 ± 0.99
Conductividad	μS/cm	1036.87 ± 31.80	1160.60 ± 176.55	1028.88 ± 29.04
Turbiedad	UNT	130.69 ± 64.39	76.13 ± 28.10	90.59 ± 29.53
Temperatura Ambiental	°C	17.22 ± 1.56		
Humedad Relativa	%	82.27 ± 6.13		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	69.44	64.97	62.20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	18.11	16.33	13.00
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	6.78	3.33	2.78
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	11.33	13.00	10.22
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.92	5.54	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.73	-	4.24

**Tabla 10.16** Resultados obtenidos durante la semana N° 16

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.27 ± 0.16	7.20 ± 0.26	7.30 ± 0.19
Temperatura	°C	17.50 ± 0.63	17.19 ± 0.51	16.99 ± 0.49
Conductividad	μS/cm	1096.29 ± 98.46	1117.86 ± 162.68	1036.43 ± 10.28
Turbiedad	UNT	201.71 ± 92.56	97.51 ± 53.09	120.90 ± 64.11
Temperatura Ambiental	°C	16.84 ± 0.87		
Humedad Relativa	%	84.17 ± 6.74		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	68.94	62.54	68.08
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	9.56	12.00	10.33
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.56	1.11	1.67
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	9.00	10.89	8.67
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.83	5.29	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.74	-	4.68

**Tabla 10.17** Resultados obtenidos durante la semana N° 17

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.37 ± 0.52	7.56 ± 0.69	7.52 ± 0.48
Temperatura	°C	18.31 ± 1.58	17.99 ± 1.57	17.80 ± 1.45
Conductividad	μS/cm	989.96 ± 36.71	1107.83 ± 128.13	995.19 ± 37.62
Turbiedad	UNT	-	-	-
Temperatura Ambiental	°C	18.11 ± 2.27		
Humedad Relativa	%	80.25 ± 10.04		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	62.57	65.57	65.43
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	27.44	13.33	16.78
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	7.22	1.33	1.11
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	20.22	12.00	15.67
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.25	5.50	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.34	-	4.54

**Tabla 10.18** Resultados obtenidos durante la semana N° 18

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.72 ± 0.44	7.90 ± 0.65	7.86 ± 0.51
Temperatura	°C	17.00 ± 0.55	16.64 ± 0.67	16.70 ± 0.61
Conductividad	μS/cm	950.40 ± 20.24	968.12 ± 23.15	952.66 ± 17.07
Turbiedad	UNT	-	-	-
Temperatura Ambiental	°C	16.30 ± 0.93		
Humedad Relativa	%	87.68 ± 4.54		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	60.10	58.42	58.53
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	22.78	7.30	7.33
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	4.22	0.30	0.67
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	18.56	7.00	6.67
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.00	4.86	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.21	-	4.10

**Tabla 10.19** Resultados obtenidos durante la semana N° 20

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.25 ± 0.15	7.18 ± 0.18	7.18 ± 0.14
Temperatura	°C	19.84 ± 1.68	18.81 ± 1.13	18.82 ± 1.26
Conductividad	μS/cm	901.16 ± 31.43	1187.77 ± 233.98	917.68 ± 32.55
Turbiedad	UNT	165.00 ± 5.66	96.00 ± 14.14	140.00 ± 4.24
Temperatura Ambiental	°C	20.67 ± 2.84		
Humedad Relativa	%	63.83 ± 13.32		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	59.89	63.74	60.93
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	23.25	9.50	12.50
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	4.00	1.00	1.50
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	19.25	8.50	11.00
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	4.43	4.72	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.26	-	5.35

**Tabla 10.20** Resultados obtenidos durante la semana N° 21

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.32 ± 0.24	7.32 ± 0.17	7.32 ± 0.18
Temperatura	°C	20.00 ± 1.99	19.04 ± 1.41	19.22 ± 1.58
Conductividad	μS/cm	946.52 ± 34.02	1092.86 ± 139.64	938.75 ± 40.55
Turbiedad	UNT	120.28 ± 40.18	73.58 ± 44.27	106.09 ± 54.52
Temperatura Ambiental	°C	20.40 ± 2.95		
Humedad Relativa	%	71.30 ± 11.26		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	92.28	89.55	95.08
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	16.50	8.00	7.87
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.87	0.37	0.37
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	15.63	7.63	7.50
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	7.68	7.45	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	7.00	-	7.22

**Tabla 10.21** Resultados obtenidos durante la semana N° 22

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.25 ± 0.33	7.36 ± 0.41	7.29 ± 0.37
Temperatura	°C	19.04 ± 1.88	18.39 ± 1.73	18.41 ± 1.68
Conductividad	μS/cm	971.60 ± 19.76	1019.61 ± 64.94	969.63 ± 21.94
Turbiedad	UNT	116.98 ± 70.82	59.29 ± 40.51	97.41 ± 60.36
Temperatura Ambiental	°C	19.03 ± 3.21		
Humedad Relativa	%	75.11 ± 10.46		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	100.59	92.96	98.93
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	17.22	7.33	11.00
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	2.11	0.56	0.33
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	15.11	6.78	10.67
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	6.71	6.20	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	6.89	-	6.78

**Tabla 10.22** Resultados obtenidos durante la semana N° 23

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.36 ± 0.11	7.40 ± 0.09	7.39 ± 0.13
Temperatura	°C	19.00 ± 1.15	18.58 ± 1.48	18.33 ± 1.30
Conductividad	μS/cm	1077.33 ± 109.90	1017.98 ± 28.19	998.93 ± 13.78
Turbiedad	UNT	-	-	-
Temperatura Ambiental	°C	19.03 ± 2.81		
Humedad Relativa	%	75.50 ± 11.47		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	82.64	77.09	89.88
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	12.33	8.00	9.56
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	1.78	1.22	0.33
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	10.56	6.78	9.22
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	6.47	6.04	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	8.00	-	8.70

**Tabla 10.23** Resultados obtenidos durante la semana N° 24

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.23 ± 0.30	7.36 ± 0.41	7.29 ± 0.33
Temperatura	°C	20.48 ± 2.52	19.72 ± 1.89	19.68 ± 2.00
Conductividad	μS/cm	989.52 ± 12.93	1148.60 ± 88.84	994.72 ± 11.63
Turbiedad	UNT	76.58 ± 37.43	50.92 ± 32.52	84.34 ± 22.62
Temperatura Ambiental	°C	20.80 ± 3.89		
Humedad Relativa	%	74.80 ± 13.07		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.24** Resultados obtenidos durante la semana N° 26

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.66 ± 0.43	7.70 ± 0.62	7.66 ± 0.51
Temperatura	°C	19.38 ± 1.64	18.80 ± 1.26	18.90 ± 1.47
Conductividad	μS/cm	1025.81 ± 93.58	1238.29 ± 272.13	996.09 ± 8.37
Turbiedad	UNT	103.25 ± 47.71	57.03 ± 44.40	90.50 ± 46.89
Temperatura Ambiental	°C	19.12 ± 2.39		
Humedad Relativa	%	74.00 ± 9.52		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	43.53	58.04	61.32
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	12.11	7.67	8.44
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	2.56	1.44	1.56
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	9.56	6.22	6.89
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	2.95	3.94	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.53	-	6.38

**Tabla 10.25** Resultados obtenidos durante la semana N° 27

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.65 ± 0.43	7.65 ± 0.52	7.53 ± 0.44
Temperatura	°C	21.95 ± 1.87	21.33 ± 1.59	21.15 ± 1.61
Conductividad	μS/cm	966.97 ± 9.76	977.72 ± 19.63	982.00 ± 13.66
Turbiedad	UNT	93.33 ± 65.55	22.91 ± 12.04	53.35 ± 30.87
Temperatura Ambiental	°C	23.53 ± 3.51		
Humedad Relativa	%	61.67 ± 11.76		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.26** Resultados obtenidos durante la semana N° 28

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.38 ± 0.28	7.44 ± 0.36	7.34 ± 0.32
Temperatura	°C	22.55 ± 3.67	20.06 ± 4.15	23.47 ± 5.61
Conductividad	μS/cm	964.77 ± 18.05	1056.10 ± 78.18	973.37 ± 7.29
Turbiedad	UNT	62.99 ± 32.28	26.21 ± 9.08	45.01 ± 20.15
Temperatura Ambiental	°C	22.74 ± 3.54		
Humedad Relativa	%	66.57 ± 14.00		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	86.58	48.30	86.44
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	10.67	4.89	13.22
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.44	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	10.22	4.89	13.22
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	7.15	3.99	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	7.15	-	7.14



**Tabla 10.27** Resultados obtenidos durante la semana N° 29

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.49 ± 0.13	7.50 ± 0.18	7.49 ± 0.11
Temperatura	°C	22.17 ± 1.48	21.33 ± 1.20	21.33 ± 1.40
Conductividad	μS/cm	964.67 ± 24.08	1430.67 ± 305.92	979.03 ± 34.47
Turbiedad	UNT	56.53 ± 8.39	18.20 ± 7.07	78.80 ± 27.94
Temperatura Ambiental	°C	22.63 ± 3.04		
Humedad Relativa	%	68.33 ± 10.26		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.28** Resultados obtenidos durante la semana N° 30

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.38 ± 0.10	7.40 ± 0.22	7.36 ± 0.15
Temperatura	°C	21.88 ± 1.90	21.23 ± 1.55	21.28 ± 1.66
Conductividad	μS/cm	968.90 ± 31.71	1179.25 ± 202.75	966.80 ± 21.74
Turbiedad	UNT	96.78 ± 20.95	36.08 ± 8.49	70.65 ± 17.13
Temperatura Ambiental	°C	21.88 ± 3.09		
Humedad Relativa	%	73.00 ± 11.60		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.29** Resultados obtenidos durante la semana N° 31

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.40 ± 0.15	7.39 ± 0.13	7.39 ± 0.13
Temperatura	°C	23.40 ± 1.84	22.58 ± 1.42	22.68 ± 1.76
Conductividad	μS/cm	1067.20 ± 19.99	1223.20 ± 183.31	1060.40 ± 20.16
Turbiedad	UNT	62.62 ± 26.67	19.72 ± 9.56	37.76 ± 10.21
Temperatura Ambiental	°C	24.36 ± 4.60		
Humedad Relativa	%	67.80 ± 15.25		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.30** Resultados obtenidos durante la semana N° 32

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.44 ± 0.14	7.44 ± 0.08	7.48 ± 0.01
Temperatura	°C	22.70 ± 2.12	24.30 ± 1.56	24.65 ± 1.63
Conductividad	μS/cm	1298.00 ± 362.04	1709.00 ± 65.05	1050.00 ± 11.31
Turbiedad	UNT	47.05 ± 28.35	15.55 ± 4.45	52.40 ± 9.62
Temperatura Ambiental	°C	29.15 ± 5.87		
Humedad Relativa	%	54.00 ± 14.14		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.31** Resultados obtenidos durante la semana N° 34

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.20 ± 0.11	7.24 ± 0.22	7.16 ± 0.19
Temperatura	°C	24.28 ± 1.18	23.75 ± 1.14	23.68 ± 1.30
Conductividad	μS/cm	1008.18 ± 18.94	1017.50 ± 5.92	1005.40 ± 13.76
Turbiedad	UNT	48.23 ± 36.05	23.75 ± 8.73	48.33 ± 12.37
Temperatura Ambiental	°C	25.48 ± 2.95		
Humedad Relativa	%	65.50 ± 10.66		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	81.44	50.64	59.60
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.89	3.66	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	6.18	-	4.52

**Tabla 10.32** Resultados obtenidos durante la semana N° 35

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	6.99 ± 0.29	7.04 ± 0.30	6.94 ± 0.30
Temperatura	°C	27.03 ± 0.60	25.73 ± 0.61	26.13 ± 0.64
Conductividad	μS/cm	1007.83 ± 23.72	1022.00 ± 23.25	1006.93 ± 27.07
Turbiedad	UNT	39.20 ± 17.99	36.43 ± 13.80	60.03 ± 22.16
Temperatura Ambiental	°C	29.33 ± 1.52		
Humedad Relativa	%	52.50 ± 4.43		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	33.59	38.85	42.39
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	2.41	2.79	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	2.62	-	3.31

**Tabla 10.33** Resultados obtenidos durante la semana N° 36

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.34 ± 0.08	7.34 ± 0.14	7.31 ± 0.12
Temperatura	°C	25.83 ± 2.43	25.10 ± 2.33	25.18 ± 2.43
Conductividad	μS/cm	916.15 ± 4.48	925.90 ± 4.14	921.05 ± 6.47
Turbiedad	UNT	48.60 ± 41.75	55.28 ± 9.83	87.53 ± 28.23
Temperatura Ambiental	°C	28.18 ± 4.87		
Humedad Relativa	%	56.00 ± 18.31		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	30.32	22.69	22.80
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	2.20	1.65	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	2.18	-	1.64

**Tabla 10.34** Resultados obtenidos durante la semana N° 37

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.34	7.26	7.21
Temperatura	°C	24.4	24.00	24.00
Conductividad	μS/cm	921.00	930.00	927.50
Turbiedad	UNT	5.39	14.80	31.30
Temperatura Ambiental	°C	24.40		
Humedad Relativa	%	74.00		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.35** Resultados obtenidos durante la semana N° 38

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.34 ± 0.14	7.26 ± 0.08	7.30 ± 0.13
Temperatura	°C	28.20 ± 0.65	27.18 ± 0.92	27.22 ± 0.99
Conductividad	μS/cm	959.24 ± 58.68	1266.98 ± 283.90	950.56 ± 40.57
Turbiedad	UNT	30.60 ± 31.85	47.76 ± 23.46	45.88 ± 26.45
Temperatura Ambiental	°C	31.84 ± 1.35		
Humedad Relativa	%	50.20 ± 3.96		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	73.80	63.99	69.01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	8.67	5.14	11.33
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.17	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	8.50	5.14	11.33
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	4.52	3.92	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.05	-	4.72

**Tabla 10.36** Resultados obtenidos durante la semana N° 39

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.43 ± 0.04	7.34 ± 0.06	7.37 ± 0.01
Temperatura	°C	28.35 ± 0.07	27.15 ± 0.07	27.90 ± 0.14
Conductividad	μS/cm	881.85 ± 11.10	1248.00 ± 53.74	886.80 ± 1.27
Turbiedad	UNT	16.09 ± 9.21	43.30 ± 3.11	61.20 ± 41.44
Temperatura Ambiental	°C	32.50 ± 0.99		
Humedad Relativa	%	46.00 ± 0.00		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.37** Resultados obtenidos durante la semana N° 41

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.43 ± 0.09	7.44 ± 0.10	7.38 ± 0.14
Temperatura	°C	30.73 ± 1.55	29.13 ± 1.46	29.47 ± 1.12
Conductividad	μS/cm	1000.93 ± 16.64	1025.00 ± 10.54	978.83 ± 35.97
Turbiedad	UNT	32.97 ± 17.98	28.43 ± 19.62	42.70 ± 37.25
Temperatura Ambiental	°C	31.20 ± 0.14		
Humedad Relativa	%	57.50 ± 3.54		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	67.10	37.33	31.54
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	6.12	3.63	4.00
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.25	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	5.87	3.63	4.00
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	4.16	2.31	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.38	-	2.53

**Tabla 10.38** Resultados obtenidos durante la semana N° 42

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.39 ± 0.13	7.45 ± 0.09	7.42 ± 0.10
Temperatura	°C	31.48 ± 0.90	31.06 ± 0.91	31.22 ± 1.01
Conductividad	μS/cm	855.08 ± 27.04	901.58 ± 32.21	862.44 ± 23.56
Turbiedad	UNT	59.80 ± 29.11	31.34 ± 14.34	66.52 ± 38.20
Temperatura Ambiental	°C	33.06 ± 0.89		
Humedad Relativa	%	45.00 ± 2.74		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	62.97	51.53	47.29
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	7.56	4.56	5.33
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.56	1.00	0.22
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	7.00	3.56	5.11
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	3.74	3.06	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.80	-	3.61

**Tabla 10.39** Resultados obtenidos durante la semana N° 43

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.32 ± 0.08	7.33 ± 0.07	7.32 ± 0.03
Temperatura	°C	29.08 ± 2.43	28.30 ± 2.21	27.73 ± 2.17
Conductividad	μS/cm	848.02 ± 13.14	859.53 ± 14.79	842.80 ± 17.93
Turbiedad	UNT	53.28 ± 32.01	29.80 ± 21.23	61.18 ± 30.41
Temperatura Ambiental	°C	29.40 ± 3.47		
Humedad Relativa	%	57.00 ± 11.52		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	41.32	47.87	40.73
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	11.01	3.89	3.89
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.22	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	10.79	3.89	3.89
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	2.36	2.74	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	3.01	-	2.96

**Tabla 10.40** Resultados obtenidos durante la semana N° 44

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.29 ± 0.21	7.47 ± 0.17	7.37 ± 0.11
Temperatura	°C	29.92 ± 1.99	28.70 ± 2.57	28.62 ± 2.66
Conductividad	μS/cm	845.46 ± 13.67	856.14 ± 13.67	837.66 ± 12.02
Turbiedad	UNT	67.10 ± 18.13	35.04 ± 21.73	74.72 ± 34.57
Temperatura Ambiental	°C	30.62 ± 2.70		
Humedad Relativa	%	53.20 ± 9.26		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	36.29	39.37	30.25
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	2.00	2.17	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	2.53	-	2.11

**Tabla 10.41** Resultados obtenidos durante la semana N° 45

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.23 ± 0.23	7.39 ± 0.05	7.28 ± 0.12
Temperatura	°C	29.73 ± 2.14	28.20 ± 3.22	27.87 ± 3.09
Conductividad	μS/cm	833.83 ± 6.47	841.30 ± 15.31	832.37 ± 11.59
Turbiedad	UNT	38.73 ± 11.83	14.37 ± 5.22	28.03 ± 22.03
Temperatura Ambiental	°C	29.67 ± 3.54		
Humedad Relativa	%	56.00 ± 12.17		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	68.94	58.30	53.55
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	10.44	5.11	4.89
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	0.11	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	10.33	5.11	4.89
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	4.25	3.59	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.87	-	3.78

**Tabla 10.42** Resultados obtenidos durante la semana N° 46

Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.05 ± 0.04	7.35 ± 0.13	7.31 ± 0.08
Temperatura	°C	28.40 ± 1.41	27.95 ± 2.05	27.80 ± 2.40
Conductividad	μS/cm	748.05 ± 60.74	792.65 ± 74.03	770.60 ± 71.84
Turbiedad	UNT	48.60 ± 4.95	43.25 ± 16.33	51.85 ± 13.65
Temperatura Ambiental	°C	28.65 ± 2.05		
Humedad Relativa	%	58.00 ± 9.90		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	87.62	57.99	65.46
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	22.56	10.89	12.11
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	2.67	1.33	1.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	19.89	9.56	11.11
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	5.89	3.90	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	6.25	-	4.67

**Tabla 10.43** Resultados obtenidos durante la semana N° 47

Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.36 ± 0.15	7.39 ± 0.02	7.40 ± 0.06
Temperatura	°C	30.85 ± 1.39	30.83 ± 1.46	30.78 ± 1.46
Conductividad	μS/cm	733.13 ± 30.17	746.25 ± 34.65	734.10 ± 38.07
Turbiedad	UNT	74.33 ± 32.74	19.63 ± 2.95	56.00 ± 27.88
Temperatura Ambiental	°C	33.30 ± 2.72		
Humedad Relativa	%	42.75 ± 4.35		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	88.67	86.87	59.18
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	27.11	8.11	6.67
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	3.37	1.11	0.11
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	23.73	7.00	6.56
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	3.40	3.34	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	4.12	-	2.75

**Tabla 10.44** Resultados obtenidos durante la semana N° 48

Parámetros	Unidad	Afluente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.29 ± 0.10	7.37 ± 0.03	7.34 ± 0.05
Temperatura	°C	27.90 ± 3.80	27.83 ± 3.76	27.83 ± 4.10
Conductividad	μS/cm	728.50 ± 3.82	744.37 ± 8.80	736.47 ± 27.15
Turbiedad	UNT	106.17 ± 22.75	29.20 ± 19.15	36.80 ± 33.34
Temperatura Ambiental	°C	27.97 ± 4.54		
Humedad Relativa	%	58.00 ± 15.59		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	108.49	86.44	75.07
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	29.00	9.67	8.22
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	3.44	1.67	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	25.56	8.00	8.22
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	4.87	3.88	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	2.14	-	1.48

**Tabla 10.45** Resultados obtenidos durante la semana N° 49

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.33 ± 0.08	7.34 ± 0.01	7.34 ± 0.06
Temperatura	°C	29.90 ± 2.50	29.53 ± 1.86	29.50 ± 1.35
Conductividad	μS/cm	825.63 ± 23.91	853.67 ± 27.68	840.90 ± 13.39
Turbiedad	UNT	79.37 ± 17.76	24.50 ± 8.32	44.53 ± 27.46
Temperatura Ambiental	°C	30.80 ± 3.40		
Humedad Relativa	%	47.00 ± 9.17		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	111.29	84.67	77.56
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	26.80	9.66	8.81
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	2.80	0.52	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	24.00	9.14	8.81
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	7.75	5.90	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	7.51	-	5.24

**Tabla 10.46** Resultados obtenidos durante la semana N° 50

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.40 ± 0.14	7.45 ± 0.06	7.42 ± 0.07
Temperatura	°C	30.38 ± 0.33	29.95 ± 0.74	29.80 ± 0.83
Conductividad	μS/cm	859.55 ± 44.46	868.63 ± 27.46	862.83 ± 33.57
Turbiedad	UNT	44.45 ± 24.55	23.90 ± 7.75	23.45 ± 3.40
Temperatura Ambiental	°C	31.00 ± 0.59		
Humedad Relativa	%	48.75 ± 1.89		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	76.88	78.99	79.68
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	28.33	10.33	8.00
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	1.33	0.67	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	27.00	9.67	8.00
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	4.58	4.71	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.71	-	5.92

**Tabla 10.47** Resultados obtenidos durante la semana N° 52

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.27 ± 0.06	7.39 ± 0.09	7.32 ± 0.09
Temperatura	°C	28.83 ± 2.11	27.60 ± 2.17	27.40 ± 2.00
Conductividad	μS/cm	953.43 ± 21.40	932.30 ± 28.61	941.17 ± 16.03
Turbiedad	UNT	36.87 ± 8.01	26.53 ± 5.77	36.73 ± 14.85
Temperatura Ambiental	°C	30.47 ± 2.97		
Humedad Relativa	%	51.00 ± 8.19		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.48** Resultados obtenidos durante la semana N° 53

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.45 ± 0.14	7.63 ± 0.15	7.46 ± 0.04
Temperatura	°C	30.20 ± 3.39	28.95 ± 1.48	28.95 ± 1.34
Conductividad	μS/cm	1015.50 ± 0.71	1024.50 ± 4.95	1006.30 ± 22.20
Turbiedad	UNT	28.65 ± 1.34	31.25 ± 1.48	57.15 ± 13.22
Temperatura Ambiental	°C	33.20 ± 1.27		
Humedad Relativa	%	44.00 ± 4.24		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	-	-	-
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	-	-	-
Carga Orgánica	g DBO/día	-	-	-

**Tabla 10.49** Resultados obtenidos durante la semana N° 54

Parámetros	Unidad	Afluyente	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
		Pto. A	Pto. B	Pto. C
pH	-	7.43	7.37	7.44
Temperatura	°C	25.00	24.80	24.90
Conductividad	μS/cm	1035.00	1144.00	1099.00
Turbiedad	UNT	79.20	15.00	19.00
Temperatura Ambiental	°C	23.40		
Humedad Relativa	%	66.00		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	126.86	116.75	83.97
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	17.50	5.50	6.78
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/l	1.61	0.00	0.00
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/l	15.89	5.50	6.78
Carga Orgánica Filtro F <sub>1</sub>	g DBO/día	6.45	5.93	-
Carga Orgánica Filtro F <sub>2</sub>	g DBO/día	5.48	-	3.63

### 10.3. ANEXO N° 3: EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS

**Tabla 10.50** Resumen de las eficiencias del Filtro F<sub>1</sub> en Remoción de parámetros evaluados

Resumen de las eficiencias del Filtro F <sub>1</sub> en Remoción de Parámetros Evaluados			
Semana	Turbiedad (%)	DBO (%)	SSV (%)
1	68.41	ND	ND
2	42.89	ND	ND
3	56.42	ND	ND
4	72.25	ND	ND
5	44.92	ND	ND
6	ND	ND	ND
7	ND	ND	ND



<b>Resumen de las eficiencias del Filtro F<sub>1</sub> en Remoción de Parámetros Evaluados</b>			
<b>Semana</b>	<b>Turbiedad (%)</b>	<b>DBO (%)</b>	<b>SSV (%)</b>
8	42.33	ND	ND
9	53.64	ND	ND
10	ND	ND	ND
11	49.47	ND	ND
12	76.57	29.86	ND
13	65.08	26.21	ND
14	ND	-8.93	53.78
15	41.75	6.44	-14.71
16	51.66	9.28	-20.99
17	ND	-4.79	40.66
18	ND	2.80	62.28
19	ND	ND	ND
20	41.82	-6.43	55.84
21	38.83	2.96	51.20
22	49.32	7.59	55.15
23	ND	6.71	35.79
24	33.51	ND	ND
25	ND	ND	ND
26	44.77	-33.33	34.88
27	75.46	ND	ND
28	58.39	44.21	52.17
29	67.81	ND	ND
30	62.72	ND	ND
31	68.51	ND	ND
32	66.95	ND	ND
33	ND	ND	ND
34	50.75	37.82	ND
35	7.08	-15.68	ND
36	-13.74	25.16	ND
37	-174.58	ND	ND
38	-56.09	13.29	39.50
39	-169.11	ND	ND
40	ND	ND	ND
41	13.75	44.37	38.30
42	47.59	18.16	49.21
43	44.06	-15.84	63.95
44	47.78	-8.48	ND
45	62.91	15.44	50.54
46	11.01	33.82	51.96
47	73.60	2.04	70.51
48	72.50	20.32	68.70
49	69.13	23.92	61.93
50	46.23	-2.75	64.20
51	ND	ND	ND
52	28.03	ND	ND
53	-9.08	ND	ND
54	81.06	7.97	65.39

<b>Resumen de las eficiencias del Filtro F<sub>1</sub> en Remoción de Parámetros Evaluados</b>			
<b>Semana</b>	<b>Turbiedad (%)</b>	<b>DBO (%)</b>	<b>SSV (%)</b>
<b>Máximo</b>	81.06	44.37	70.51
<b>Mínimo</b>	-174.58	-33.33	-20.99
<b>Promedio</b>	49.78	12.71	51.72

**Tabla 10.51** Resumen de las eficiencias del Filtro F<sub>2</sub> en Remoción de parámetros evaluados

<b>Resumen de las eficiencias del Filtro F<sub>2</sub> en Remoción de Parámetros Evaluados</b>			
<b>Semana</b>	<b>Turbiedad (%)</b>	<b>DBO (%)</b>	<b>SSV (%)</b>
1	35.00	ND	ND
2	-6.34	ND	ND
3	20.16	ND	ND
4	44.37	ND	ND
5	15.75	ND	ND
6	ND	ND	ND
7	ND	ND	ND
8	18.53	ND	ND
9	42.48	ND	ND
10	ND	ND	ND
11	49.91	ND	ND
12	61.99	45.88	ND
13	42.60	33.04	ND
14	ND	12.45	56.30
15	30.68	10.43	9.80
16	40.06	1.25	3.70
17	ND	-4.57	22.53
18	ND	2.61	64.07
19	ND	ND	ND
20	15.15	-1.72	42.86
21	11.80	-3.03	52.00
22	16.73	1.65	29.41
23	ND	-8.77	12.63
24	-10.13	ND	ND
25	ND	ND	ND
26	12.35	-40.86	27.91
27	42.84	ND	ND
28	28.54	0.16	-29.35
29	-39.39	ND	ND
30	27.00	ND	ND
31	39.70	ND	ND
32	-11.37	ND	ND
33	ND	ND	ND
34	-0.21	26.82	ND
35	-53.13	-26.21	ND
36	-80.10	24.79	ND
37	-480.71	ND	ND

Resumen de las eficiencias del Filtro F <sub>2</sub> en Remoción de Parámetros Evaluados			
Semana	Turbiedad (%)	DBO (%)	SSV (%)
38	-49.94	6.49	-33.33
39	-280.36	ND	ND
40	ND	ND	ND
41	-29.52	53.01	31.91
42	-11.24	24.90	26.98
43	-14.83	1.44	63.95
44	-11.36	16.65	ND
45	27.64	22.32	52.69
46	-6.69	25.29	44.13
47	24.66	33.26	72.38
48	65.34	30.81	67.83
49	43.89	30.31	63.28
50	47.24	-3.64	70.37
51	ND	ND	ND
52	0.36	ND	ND
53	-99.48	ND	ND
54	76.01	33.81	57.34
<b>Máximo</b>	76.01	53.01	72.38
<b>Mínimo</b>	-480.71	-40.86	-33.33
<b>Promedio</b>	19.58	15.44	44.52

#### 10.4. ANEXO N° 4: DESCRIPCIÓN DE LAS *ARGOPECTEN PURPURATUS* UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN

Las valvas de *Argopecten purpuratus* fueron extraídas del área de disposición de residuos sólidos en el Mercado Mayorista Pesquero, MMP, o comúnmente conocido como Terminal Pesquero de Ventanilla, en la Provincia Constitucional del Callao.

El terminal pesquero está ubicado en la Av. Néstor Gambeta Km. 5.5 dentro de la región Callao.

Para obtener las conchas marinas, se esperó a que los vendedores de mixtura de mariscos realicen el desvalve y eviscerado, labor que empieza a las 3 am. A las 9 am ya hay suficiente *Argopecten purpuratus* en el punto de acopio para extraer; sin embargo en los paquetes de residuos se encontró diferentes especies de conchas marinas por lo que se separó las *Argopecten purpuratus* de las demás especies para limpiarlas con agua potable y cepillo con el cuidado apropiado de manera que no se quiebren.



**Fotografía 10.1** Terminal Pesquero de Ventanilla, Callao.  
Fuente: Propia



**Fotografía 10.2** Muestra de *Argopecten purpuratus* seleccionadas.  
Fuente: Propia

Se observó que organismos realizan una simbiosis habían crecido en algunas conchas, los cuales se removieron pero en algunos casos no era

posible. También se clasificó por tamaño, buscando un tamaño uniforme de 6 cm de ancho aproximadamente, descartando los de otros tamaños.

#### a. Degradación de *Argopecten purpuratus*

Una de las características de los medios de soporte es que sean biológica y químicamente inertes (Pinto & Chernicharo, 1996) por ello se analizó muestras de *Argopecten purpuratus* en paralelo a la investigación principal.

Se comparó la degradación de las valvas de *Argopecten purpuratus* tras ser sumergidas en agua potable y en muestras de afluente de los filtros en dos recipientes. A estos recipientes se les denominó reactores batch y se muestran en la fotografía 10.3. Estos análisis se llevaron a cabo entre el 6 de marzo y el 8 de junio del 2018.



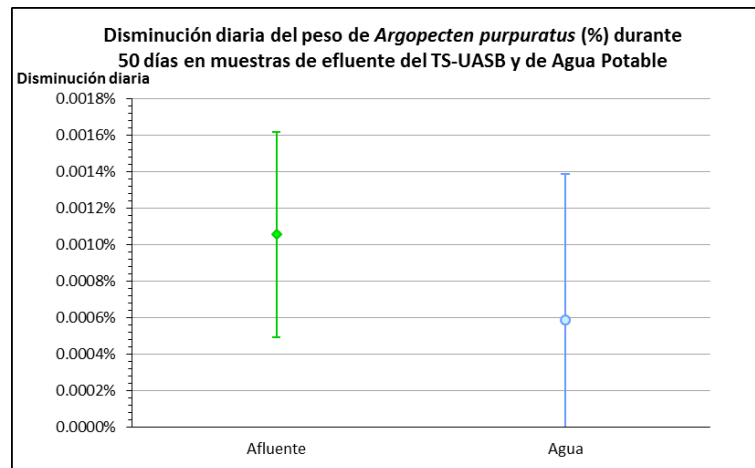
**Fotografía 10.3** Recipientes con muestra del Afluente y Agua Potable

*Fuente: Propia.*

Para calcular la degradación de *Argopecten purpuratus* en los reactores batch, se realizó el pesado de estas identificándolas para que al final del periodo evaluado se vuelva a pesar. Por diferencia de pesos se calcula la degradación en función al peso original.

En la gráfica 10.1 se muestran los porcentajes de disminución promedio durante los primeros 50 días desde el 6 de marzo de 2018. Se observó que

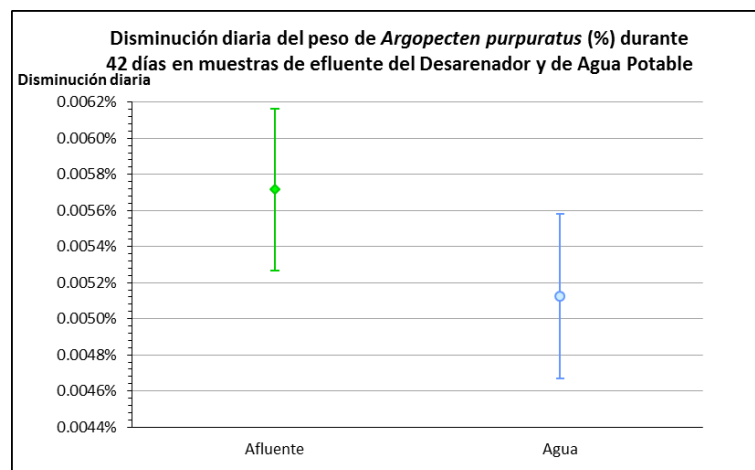
en el reactor 1 se presenta mayor degradación que en el reactor 2, además la desviación estándar es mayor en el reactor 2.



*Afluente* .- Disminución de peso de medio de soporte en el reactor batch con muestra de Afluente.

*Agua* .- Disminución de peso de medio de soporte en el reactor batch con muestra de Agua.

**Gráfico 10.1** Disminución del peso de *Argopecten purpuratus* durante 50 días en muestras del efluente del TS-UASB y de Agua Potable



*Afluente* .- Variación de peso de *Argopecten purpuratus* en el reactor con muestra de Afluente.

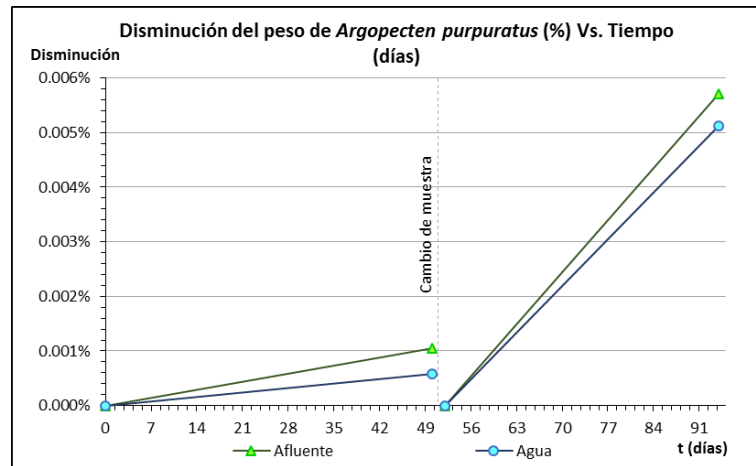
*Agua* .- Variación de peso de *Argopecten purpuratus* en el reactor con muestra de Agua.

**Gráfico 10.2** Disminución del peso de *Argopecten purpuratus* durante 42 días en muestras del efluente del Desarenador y Agua Potable

En la gráfica 10.2 se muestran los porcentajes de disminución promedio durante los siguientes 42 días desde el 27 de abril del 2018. Se observó que la degradación se presentó de manera similar pero con menor

disminución de peso en los dos reactores. Además la desviación estándar en el reactor 2 fue menor que antes del cambio de muestra.

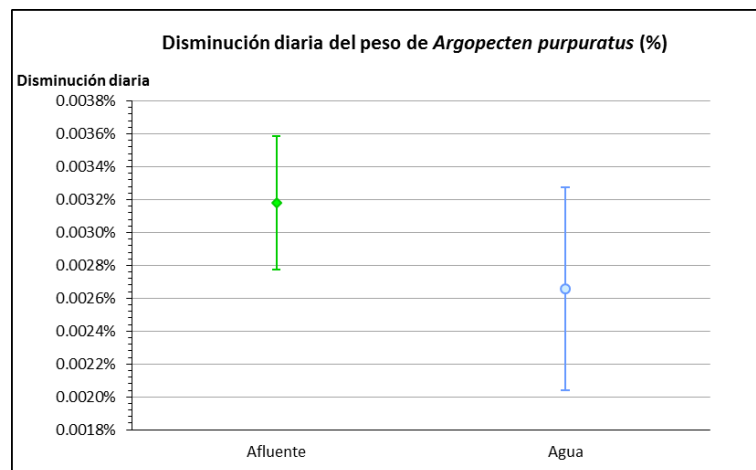
En la gráfica 10.3 se muestra el incremento en la disminución de peso promedio, de cada valva de *Argopecten purpuratus* en los reactores batch, antes y después del cambio de muestra.



*Afluente* .- Variación de peso de *Argopecten purpuratus* en el reactor con muestra de *Afluente*.

*Agua* .- Variación de peso de *Argopecten purpuratus* en el reactor con muestra de *Agua*.

**Gráfico 10.3** Disminución del peso de *Argopecten purpuratus* Vs. Tiempo (días) en Reactores batch



*Afluente* .- Variación de peso de *Argopecten purpuratus* en el Reactor batch 1.

*Agua* .- Variación de peso de *Argopecten purpuratus* en el Reactor batch 2.

**Gráfico 10.4** Disminución del peso de *Argopecten purpuratus* durante 92 días en los reactores batch

En la fotografía 10.4 se muestra los sedimentos de los últimos 42 días en los reactores batch. Se observa a simple vista que hay mayor cantidad en el reactor batch 1 en comparación con el 2, lo que concuerda con la disminución de pesos registrada en laboratorio.



**Fotografía 10.4** Restos de degradación de *Argopecten purpuratus* de los reactores batch 1 (izquierda) y 2 (derecha)

*Fuente: Propia.*

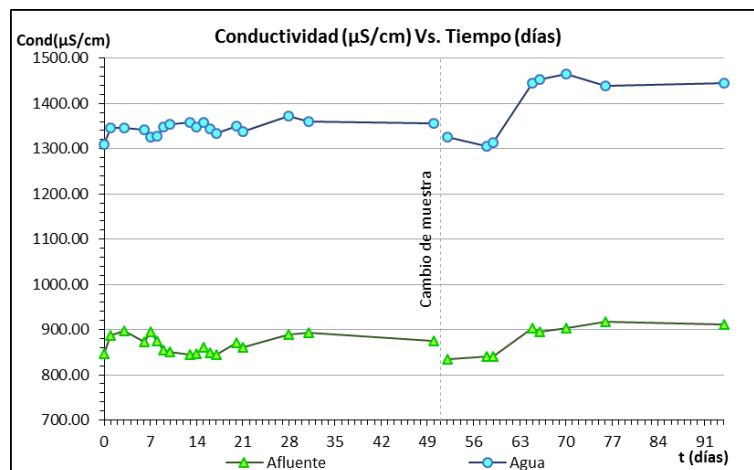
Se comprobó que las *Argopecten purpuratus* no son materiales químicamente inertes en estricto, pues al confinarlas en reactores batch con muestras del efluente del TS-UASB durante 50 días y del efluente del desarenador durante 42 días, se redujo su peso en 31.82ppm por día. Mientras que en muestras de agua potable se redujo en 26.58ppm por día.

Para complementar la información, se midió la conductividad del agua potable y la muestra de afluente contenidas en los reactores desde el primer día durante tres semanas y una vez al día. Las siguientes mediciones fueron más espaciadas tal como se muestra en la gráfica 10.5.

Se observó que la conductividad del reactor 2 es mayor que la conductividad del reactor 1, y los valores del reactor 2 se incrementaron al cambiar de muestra. Por otro lado, los valores del reactor 1 se incrementaron pero no en la medida del reactor 2.

El incremento leve de conductividad en los reactores batch pone de manifiesto que hay incremento sutil de iones disueltos por la degradación de las *Argopecten purpuratus*.





Afluente .- Conductividad en el reactor batch con muestra de Afluente.

Agua .- Conductividad en el reactor batch con muestra de Agua Potable.

**Gráfico 10.5** Conductividad Vs. Tiempo (días) en Reactores batch

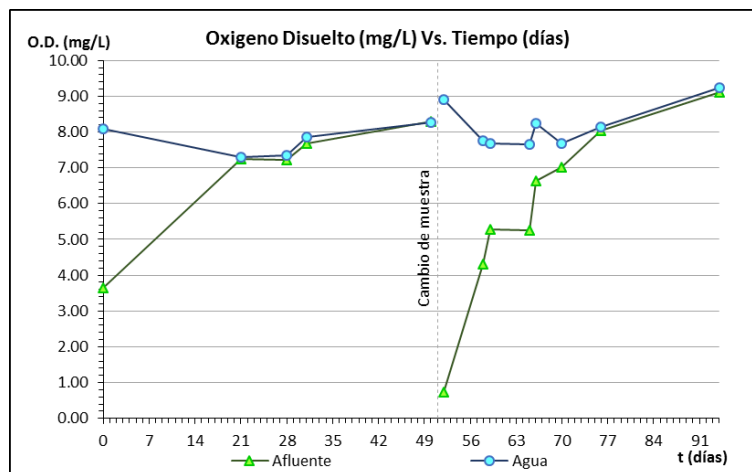
También se realizó la medición de la DBO en las fechas indicadas en la tabla 10.52. Se observó que la remoción es mayor después del cambio de muestra.

**Tabla 10.52** Remoción de DBO en reactores batch

Remoción de DBO en Reactores batch						
Fecha	DBO <sub>5</sub>	Remoción	Fecha	DBO <sub>5</sub>	Remoción	
Inicio	06/03/2018	41.32	85.65%	Inicio	27/04/2018	76.58
Fin	25/04/2018	5.93		Fin	08/06/2018	3.45
			95.50%			

Se midió también el oxígeno disuelto, los resultados se muestran en la gráfica 10.6. Se observó que el oxígeno del reactor 1 incrementa el nivel mientras que en el reactor 2 tiene una tendencia oscilante. Al cambiar de muestra el reactor 2 y 1 tuvieron un comportamiento similar a lo descrito.

La remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno en los reactores batch fue de 85.65% para la muestra de efluente del TS-UASB y de 95.50% para la muestra de efluente del desarenador. Esto puede asociarse al ingreso de oxígeno cada vez que se tomaron lecturas de la muestra en dichos reactores, pues se retiraban las *Argopecten purpuratus* al ambiente y luego de medir los parámetros se volvían a introducir en el reactor generando así el ingreso de oxígeno debido a la porosidad en la superficie de las *Argopecten purpuratus*.

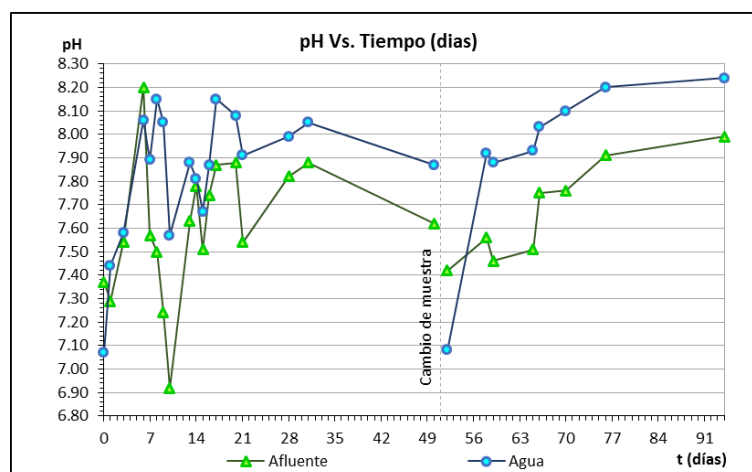


*Afluente* .- Oxígeno Disuelto en el reactor batch con muestra de Afluente.

*Agua* .- Oxígeno Disuelto en el reactor batch con muestra de Agua Potable.

**Gráfico 10.6** Oxígeno Disuelto Vs. Tiempo (días) en Reactores batch

Así mismo el pH se monitoreo como se muestra en la gráfica 10.7. Se observó que los valores oscilaban y en la mayoría de las mediciones el valor de pH del reactor 2 fue mayor que en reactor 1.



*Afluente* .- Potencial de Hidrógeno en el reactor batch con muestra de Afluente.

*Agua* .- Potencial de Hidrógeno en el reactor batch con muestra de Agua Potable.

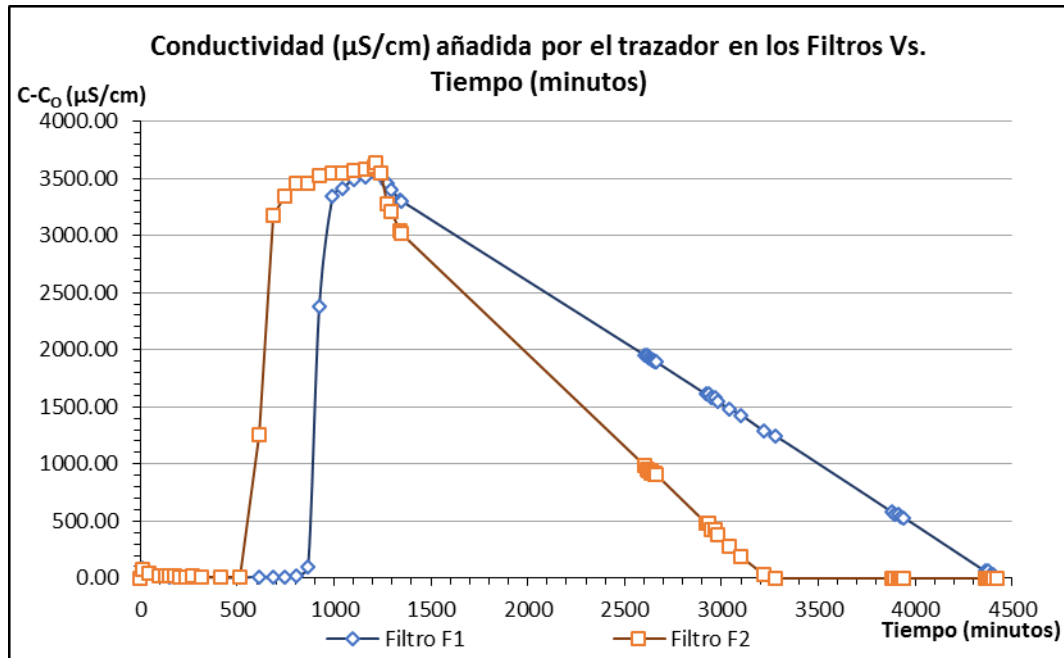
**Gráfico 10.7** Potencial de Hidrógeno Vs. Tiempo (días) en Reactores batch

### 10.5. ANEXO N° 5: ANÁLISIS HIDRAULICO DE LOS FILTROS

Se analizaron los filtros en su comportamiento hidráulico según los siguientes métodos:

### a. Método de la Curva de tendencia

En la gráfica 10.8 se muestra la conductividad añadida por el trazador de salmuera en ambos filtros.



Filtro F<sub>1</sub>.- Conductividad añadida en el Filtro F<sub>1</sub>. Filtro F<sub>2</sub>.- Conductividad añadida en el Filtro F<sub>2</sub>.

**Gráfico 10.8** Conductividad añadida por el trazador en los Filtros Vs Tiempo (minutos)

Los parámetros que se visualizan en la gráfica 10.9 y 10.10 se relacionan entre sí para determinar el flujo predominante en los filtros. Estos son:

$t_i$  : tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.

$t_{10}$  : tiempo hasta que pasa el 10% de la cantidad total del trazador.

$t_p$  : tiempo modal, correspondiente a la lectura de la máxima concentración.

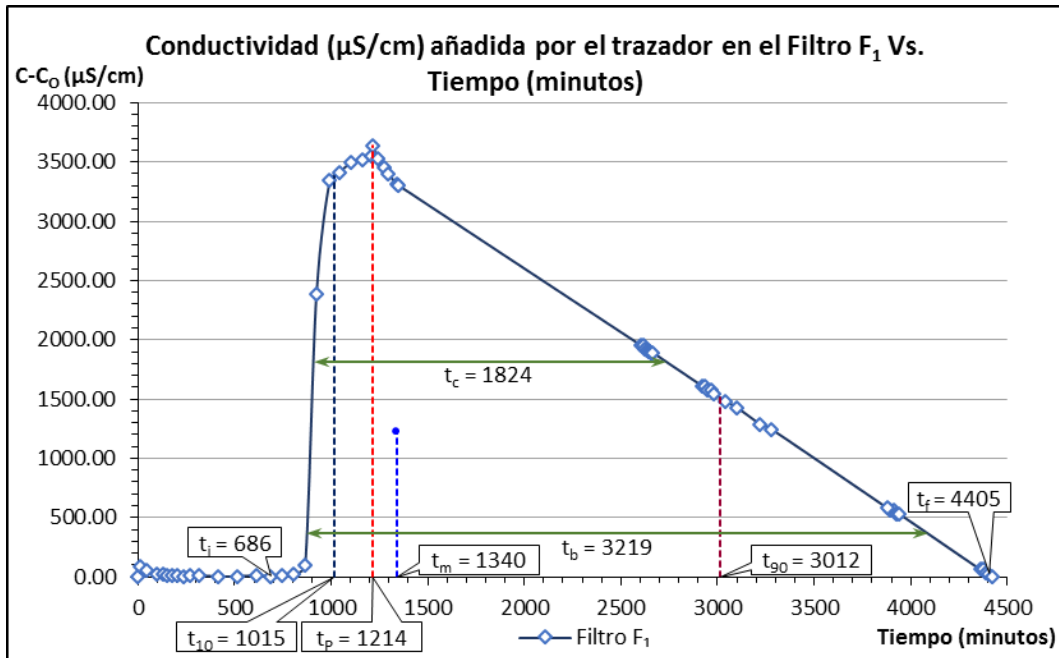
$t_m$  : tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad del trazador.

$t_o$  : tiempo teórico de retención  $V/Q$ .

$t_{90}$  : tiempo correspondiente al paso del 90% de la cantidad total del trazador.

$t_f$  : tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al filtro.

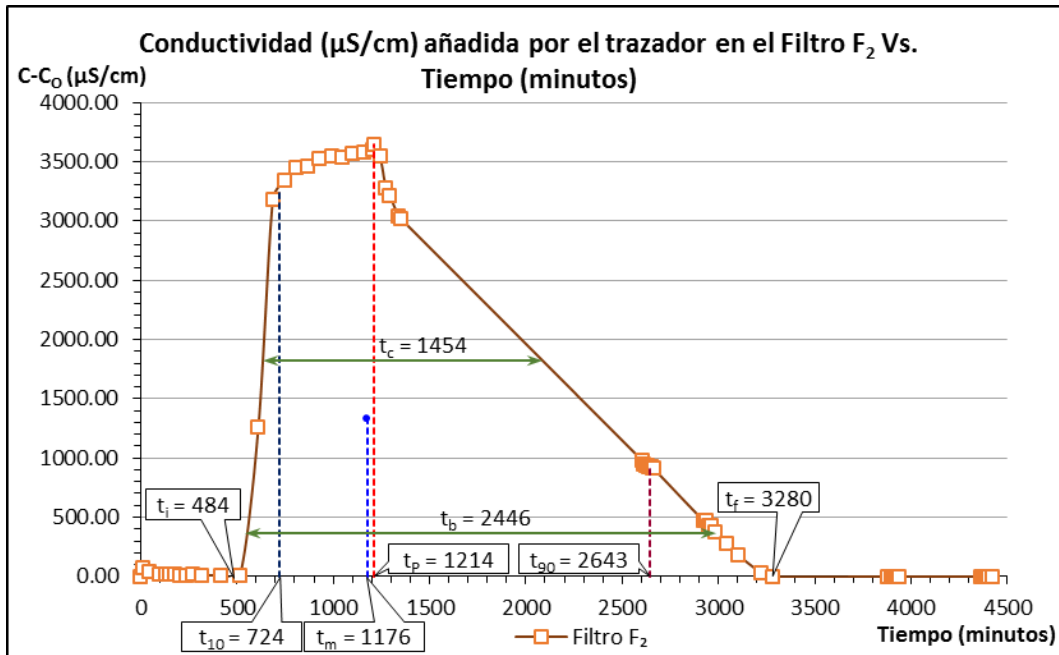
$C-C_0$  : conductividad añadida.



Filtro  $F_1$ .- Conductividad añadida en el Filtro  $F_1$ .

**Gráfico 10.9** Conductividad añadida por el trazador en el Filtro  $F_1$  Vs Tiempo (minutos)

En la tabla 10.53 se muestran las relaciones que determinarán las características del flujo según los valores resultantes.



Filtro  $F_2$ .- Conductividad añadida en el Filtro  $F_2$ .

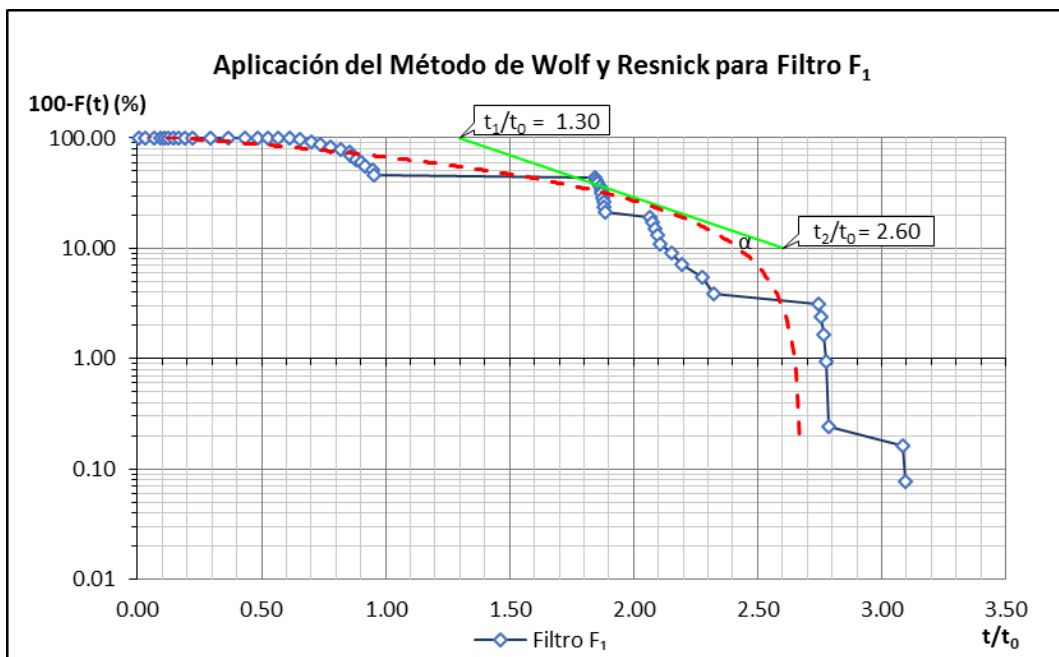
**Gráfico 10.10** Conductividad añadida por el trazador en el Filtro  $F_2$  Vs Tiempo (minutos)

**Tabla 10.53** Relaciones de Parámetros principales en el Efluente de los Filtros

Relaciones de Parámetros principales en el efluente de los Filtros			
Criterio	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>	Consecuencia según el método
$\frac{t_i}{t_0}$	$\frac{686}{1413} = 0.49$	$\frac{484}{406} = 1.19$	No definida
$\frac{t_m}{t_0}$	$\frac{1340}{1413} = 0.95 < 1$	$\frac{1176}{406} = 2.90 > 1$	Existió corto circuito hidráulico en el Filtro F <sub>1</sub> y existieron zonas muertas en el Filtro F <sub>2</sub> , es decir zonas donde la salmuera quedó retenida por cierto tiempo.
$\frac{t_p}{t_0}$	$\frac{1214}{1413} = 0.86 \rightarrow 1$	$\frac{1214}{406} = 2.99$	Existe predominio de flujo pistón en el Filtro F <sub>1</sub>
$\frac{t_c}{t_0}$	$\frac{1806}{1413} = 1.29$	$\frac{1486}{406} = 3.59$	No definida
$\frac{t_b}{t_0}$	$\frac{3192}{1413} = 2.28 \approx 2.3$	$\frac{2390}{406} = 6.03$	El Filtro F <sub>1</sub> tendió a presentar un flujo mezclado ideal.
$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_0}$	1.88	3.29 > 2.3	El Filtro F <sub>2</sub> presentó un flujo mezclado ideal.

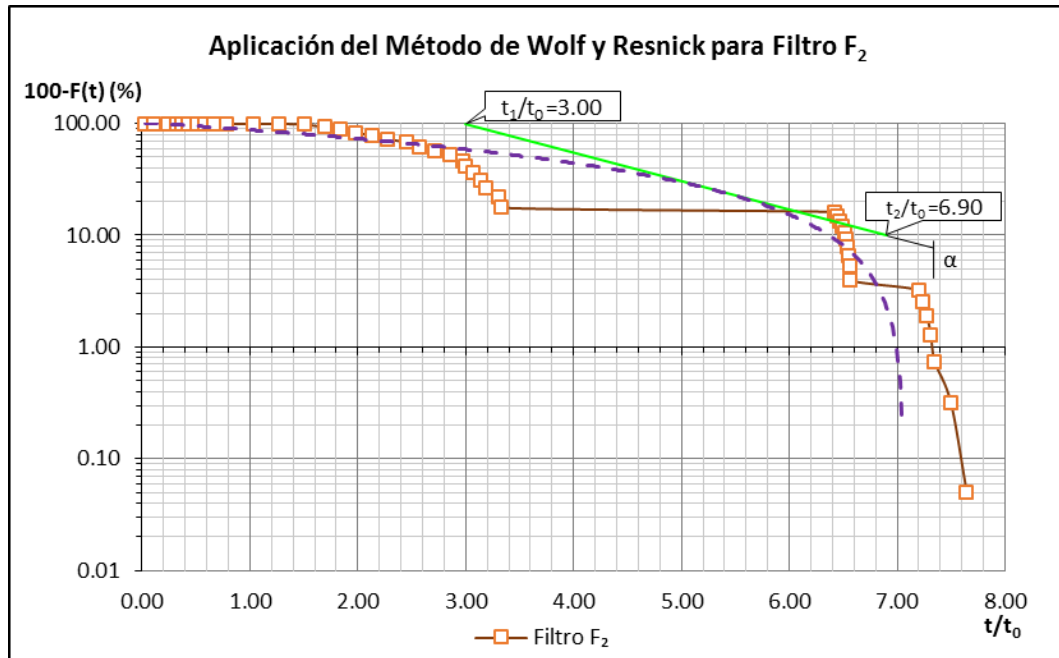
**b. Método de Wolf y Resnick**

En los gráficos 10.11 y 10.12 se muestran los valores de  $t/t_0$  y del porcentaje del trazador que quedan en los filtros. Se trazan cada gráfico a partir de un eje aritmético en las abscisas y un eje logarítmico en las ordenadas.



Filtro F<sub>1</sub>.- Porcentaje remanente de conductividad añadida vs cociente de  $t/t_0$  en el Filtro F<sub>1</sub>.

**Gráfico 10.11** Aplicación del método de Wolf y Resnick para el Filtro F<sub>1</sub>



Filtro F<sub>2</sub>.- Porcentaje remanente de conductividad añadida vs cociente de  $t/t_0$  en el Filtro F<sub>2</sub>.

**Gráfico 10.12** Aplicación del método de Wolf y Resnick para el Filtro F<sub>2</sub>

Luego de bosquejar la curva de tendencia se traza la tangente en el punto de inflexión con la que se definen los valores de  $t_1/t_0$  y  $t_2/t_0$  para luego calcular los valores mostrados en la tabla 10.54.

**Tabla 10.54** Valores de los criterios para el Análisis por el método de Wolf y Resnick.

Valores de los criterios para el Análisis por el método de Wolf y Resnick		
Criterio	Filtro F <sub>1</sub>	Filtro F <sub>2</sub>
$\theta$	1.30	3.00
$\frac{t_1}{t_0}$	1.30	3.00
$\frac{t_2}{t_0}$	2.60	6.90
$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}}$	$\frac{1}{2.60 - 1.30} = 0.77$	$\frac{1}{6.90 - 3.00} = 0.26$
$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0.435 + \theta \tan \alpha}$	$\frac{1.30 \times 0.77}{0.435 + 1.30 \times 0.77} = 0.70$	$\frac{3.00 \times 0.26}{0.435 + 3.00 \times 0.26} = 0.64$
$m = 1 - \frac{\theta}{p}$	$1 - \frac{1.30}{0.70} = -0.87$	$1 - \frac{3.00}{0.64} = -3.7$
$M = 1 - p$	$1 - 0.70 = 0.30$	$1 - 0.64 = 0.36$

Según el método de Wolf y Resnick, se obtuvo que:

- El flujo pistón en los Filtros  $F_1$  y  $F_2$  fueron 70% y 64% respectivamente.
- No hay espacios muertos.
- El flujo mezclado en los Filtros  $F_1$  y  $F_2$  fueron 30% y 36% respectivamente.

### c. Índice de Morrill

El método requiere de un eje probabilístico en las abscisas y un eje logarítmico en las ordenadas. Se utilizó en las abscisas un eje aritmético cuyos valores han sido transformados de manera que correspondan a los valores en un eje probabilístico.

Se bosqueja la línea de tendencia para determinar los valores de tiempo en que pasa el 10% y 90% del trazador, que en el eje probabilístico corresponde a -1.28 y 1.28 respectivamente.

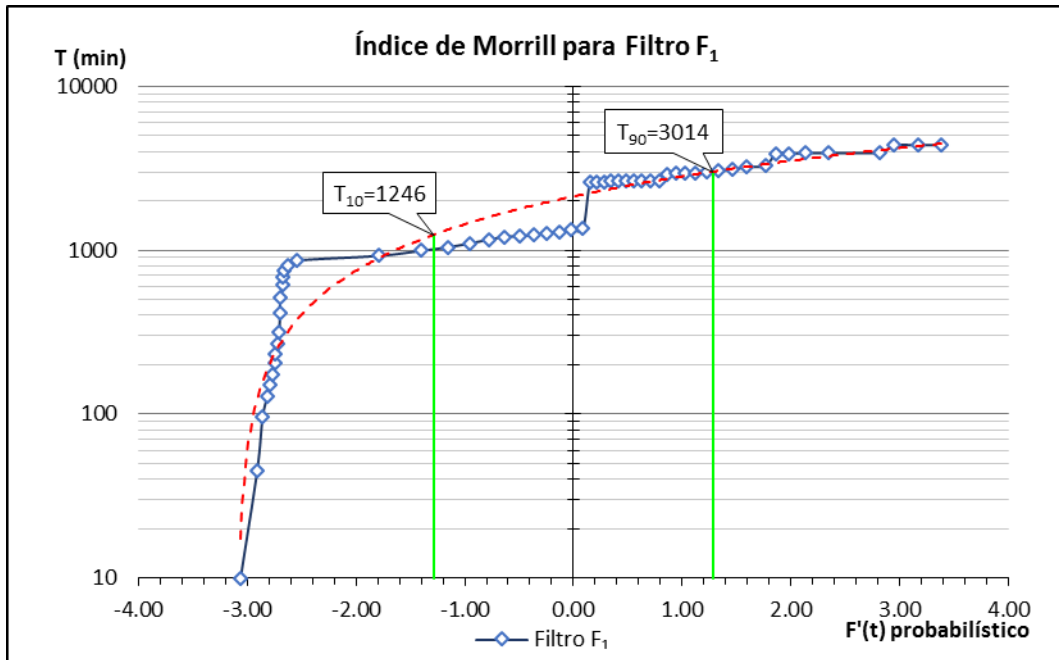
Los tiempos correspondientes se muestran en las gráficas 10.13 y 10.14. Con estos valores de tiempos se calcula el índice de Morrill, sugerido por él para determinar el índice de dispersión: el cociente del tiempo en que pasa el 90% entre el tiempo que pasa el 10%.

Según dichas gráficas se obtienen los índices de Morrill para ambos Filtros:

$$I_{M \text{ Filtro } F_1} = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{3014}{1246} = 2.42$$

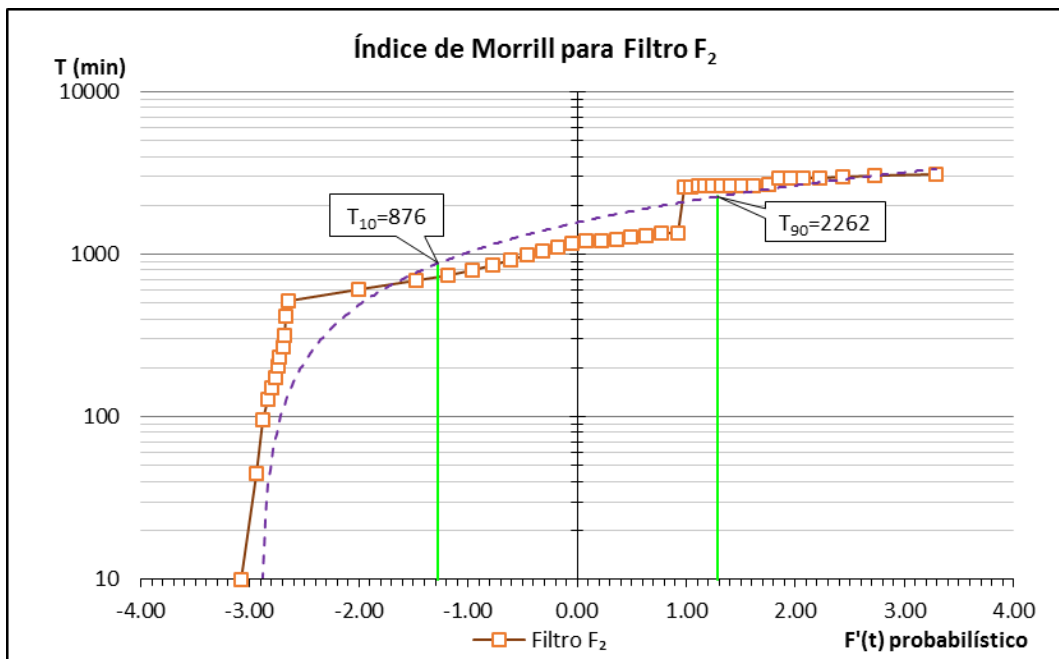
$$I_{M \text{ Filtro } F_2} = \frac{T_{90}}{T_{10}} = \frac{2262}{876} = 2.58$$

Lo cual significa que el flujo mezclado existe en mayor proporción. Es mayor en el filtro  $F_2$  en comparación al Filtro  $F_1$ .



Filtro  $F_1$ .- Tiempo en que pasa el porcentaje del trazador en el Filtro  $F_1$ .

**Gráfico 10.13** Índice de Morrill para el Filtro  $F_1$



Filtro  $F_2$ .- Tiempo en que pasa el porcentaje del trazador en el Filtro  $F_2$ .

**Gráfico 10.14** Índice de Morrill para el Filtro  $F_2$



### 10.10. ANEXO N° 6: CÁLCULO DE COEFICIENTES

Young (1991) estableció, a partir de datos operacionales de varias investigaciones de filtros anaerobios a escala piloto y de laboratorio, la siguiente relación:

$$E=100 \times (1 - S_k(\text{TRH})^{-m}) \dots (\text{ec. 10.1})$$

donde:

- E : Eficiencia de remoción en porcentaje  
 TRH : Tiempo de retención hidráulica (horas)  
 S<sub>k</sub> : Coeficiente del sistema  
 m : Coeficiente del medio de soporte

Los coeficientes que se calcularon fueron S<sub>k</sub> y m a partir de la regresión logarítmica, siendo las variables la Eficiencia (E) y el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH). Estos valores se muestran en la tabla 10.55 y 10.56 para el Filtro F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> respectivamente.

Aplicando logaritmos a la ecuación 10.1 se obtiene la ecuación:

$$\log\left(\frac{100-E}{100}\right) = \log S_k + (-m)\log(\text{TRH}) \dots (\text{ec. 10.2})$$

Se reemplazan por:

$$y = \log\left(\frac{100 - E}{100}\right)$$

$$A = \log S_k$$

$$B = -m$$

$$x = \log(\text{TRH})$$

Luego quedaría la ecuación:

$$y = A + Bx \dots (\text{ec. 10.3})$$

Aplicando regresión:

$$B = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$A = \bar{y} - B\bar{x}$$

Se calcularán los valores de A y B a partir de las sumatorias y valores promedios de los mostrados en la Tabla 10.55. y 10.57 para los Filtros F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> respectivamente.

Reemplazando los valores de A y B, se calculan S<sub>k</sub> y m:

$$A = \log S_k \quad \rightarrow \quad S_k = 10^A$$

$$B = -m \quad \rightarrow \quad m = -B$$

Reemplazando los valores de S<sub>k</sub> y m en la ecuación 10.1 se obtienen las ecuaciones para los Filtros F<sub>1</sub> y F<sub>2</sub> respectivamente:

$$E = 100 \times (1 - 0.570(\text{TRH})^{0.117}) \dots \text{(ec. 10.4)}$$

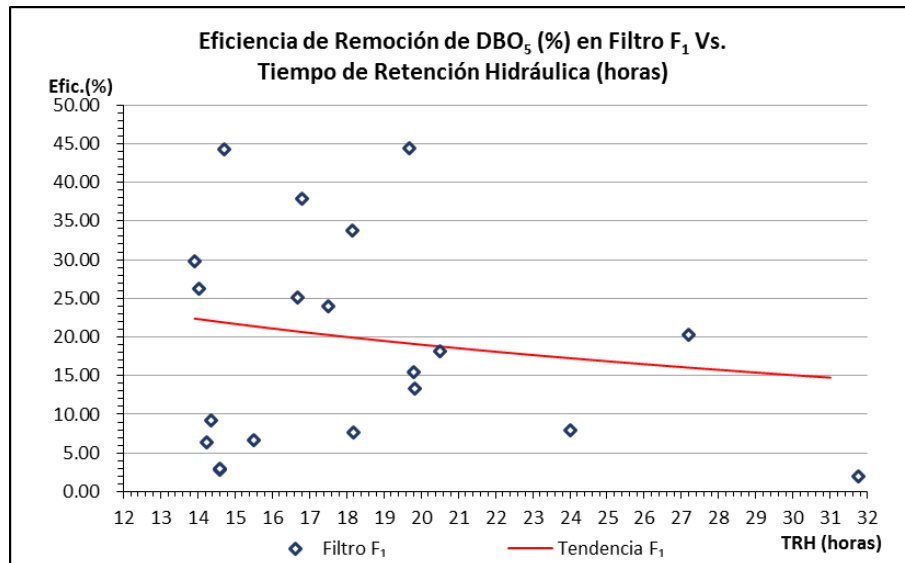
$$E = 100 \times (1 - 0.963(\text{TRH})^{-0.145}) \dots \text{(ec. 10.5)}$$

**Tabla 10.55** Tiempo de Retención Hidráulica (horas) y Eficiencia en Remoción de DBO (%) en el Filtro F<sub>1</sub>

Fecha	TRH	Eficiencia	Fecha	TRH	Eficiencia
03/08/17	13.915	29.86	19/01/18	16.700	25.16
10/08/17	14.028	26.21	02/02/18	19.845	13.29
24/08/17	14.253	6.44	23/02/18	19.676	44.37
31/08/17	14.366	9.28	02/03/18	20.516	18.16
14/09/17	14.591	2.80	23/03/18	19.806	15.44
05/10/17	14.600	2.96	28/03/18	18.144	33.82
12/10/17	18.200	7.59	06/04/18	31.766	2.04
19/10/17	15.500	6.71	11/04/18	27.187	20.32
23/11/17	14.700	44.21	20/04/18	17.507	23.92
05/01/18	16.800	37.82	23/05/18	24.001	7.97

**Tabla 10.56** Regresión Potencial en el Filtro F<sub>1</sub>

TRH	$\frac{100 - E}{100}$	log(TRH)	$\log\left(\frac{100 - E}{100}\right)$	$\log(\text{TRH}) \times \log\left(\frac{100 - E}{100}\right)$	$(\log(\text{TRH}))^2$
13.92	0.701	1.143	-0.154	-0.176	1.308
14.03	0.738	1.147	-0.132	-0.151	1.316
14.25	0.936	1.154	-0.029	-0.033	1.332
14.37	0.907	1.157	-0.042	-0.049	1.339
14.59	0.972	1.164	-0.012	-0.014	1.355
14.60	0.970	1.164	-0.013	-0.015	1.356
18.20	0.924	1.260	-0.034	-0.043	1.588
15.50	0.933	1.190	-0.030	-0.036	1.417
14.70	0.558	1.167	-0.253	-0.296	1.363
16.80	0.622	1.225	-0.206	-0.253	1.501
16.70	0.748	1.223	-0.126	-0.154	1.495
19.84	0.867	1.298	-0.062	-0.080	1.684
19.68	0.556	1.294	-0.255	-0.330	1.674
20.52	0.818	1.312	-0.087	-0.114	1.722
19.81	0.846	1.297	-0.073	-0.094	1.682
18.14	0.662	1.259	-0.179	-0.226	1.584
31.77	0.980	1.502	-0.009	-0.013	2.256
27.19	0.797	1.434	-0.099	-0.142	2.057
17.51	0.761	1.243	-0.119	-0.148	1.546
24.00	0.920	1.380	-0.036	-0.050	1.905
<b>366.10</b>	<b>Σ</b>	<b>25.01</b>	<b>-1.95</b>	<b>-2.42</b>	<b>31.48</b>



Filtro F<sub>1</sub>.- Eficiencia del Filtro F<sub>1</sub> en remoción de DBO

Tendencia F<sub>1</sub>.- Tendencia de remoción del filtro F<sub>1</sub>

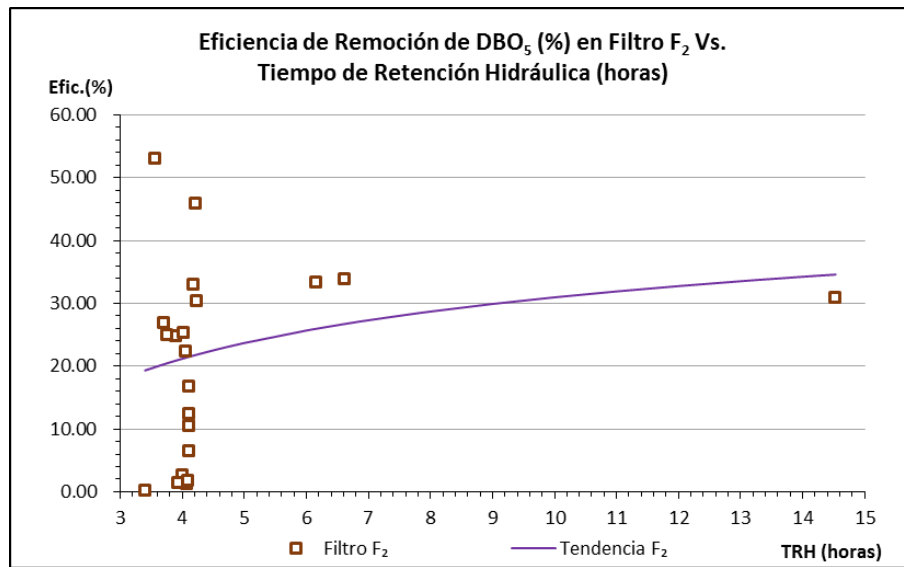
**Gráfico 10.15** Eficiencia en Remoción de DBO en el Filtro F<sub>1</sub> Vs. Tiempo de Retención Hidráulica

**Tabla 10.57** Tiempo de Retención Hidráulica (horas) y Eficiencia en Remoción de DBO (%) en el Filtro F<sub>2</sub>

Fecha	TRH	E	Fecha	TRH	E
03/08/17	4.225	45.88	23/02/18	3.571	53.01
10/08/17	4.189	33.04	02/03/18	3.752	24.90
17/08/17	4.118	12.45	09/03/18	3.932	1.44
24/08/17	4.118	10.43	16/03/18	4.108	16.65
31/08/17	4.082	1.25	23/03/18	4.054	22.32
14/09/17	4.011	2.61	28/03/18	4.016	25.29
12/10/17	4.100	1.65	06/04/18	6.162	33.26
23/11/17	3.400	0.16	11/04/18	14.530	30.81
05/01/18	3.700	26.82	20/04/18	4.240	30.31
19/01/18	3.900	24.79	23/05/18	6.626	33.81
02/02/18	4.103	6.49	-	-	-

**Tabla 10.58** Regresión Potencial en el Filtro F<sub>2</sub>

TRH	$\frac{100 - E}{100}$	log(TRH)	$\log\left(\frac{100 - E}{100}\right)$	$\log(\text{TRH}) \times \log\left(\frac{100 - E}{100}\right)$	$(\log(\text{TRH}))^2$
4.22	0.541	0.626	-0.267	-0.167	0.392
4.19	0.670	0.622	-0.174	-0.108	0.387
4.12	0.876	0.615	-0.058	-0.035	0.378
4.12	0.896	0.615	-0.048	-0.029	0.378
4.08	0.988	0.611	-0.005	-0.003	0.373
4.01	0.974	0.603	-0.011	-0.007	0.364
4.10	0.983	0.613	-0.007	-0.004	0.376
3.40	0.998	0.531	-0.001	0.000	0.282
3.70	0.732	0.568	-0.136	-0.077	0.323
3.90	0.752	0.591	-0.124	-0.073	0.349
4.10	0.935	0.613	-0.029	-0.018	0.376
3.57	0.470	0.553	-0.328	-0.181	0.306
3.75	0.751	0.574	-0.124	-0.071	0.330
3.93	0.986	0.595	-0.006	-0.004	0.354
4.11	0.833	0.614	-0.079	-0.049	0.377
4.05	0.777	0.608	-0.110	-0.067	0.369
4.02	0.747	0.604	-0.127	-0.076	0.365
6.16	0.667	0.790	-0.176	-0.139	0.624
14.53	0.692	1.162	-0.160	-0.186	1.351
4.24	0.697	0.627	-0.157	-0.098	0.394
6.63	0.662	0.821	-0.179	-0.147	0.674
<b>98.94</b>		<b>13.56</b>	<b>-2.31</b>	<b>-1.54</b>	<b>9.12</b>



*Filtro F<sub>2</sub>.*- Eficiencia del Filtro F<sub>2</sub> en remoción de DBO

*Tendencia F<sub>2</sub>.*- Tendencia de remoción del filtro F<sub>2</sub>

**Gráfico 10.16** Eficiencia en Remoción de DBO en el Filtro F<sub>2</sub> Vs. Tiempo de Retención Hidráulica

## 10.11. ANEXO N° 7: PANEL FOTOGRÁFICO

### a. Componentes del sistema



**Fotografía 10.5** Ubicación inicial y final de los filtros en la zona de tesis 2



**Fotografía 10.6** Caja de llaves eléctricas



**Fotografía 10.7** Sistema de válvula flotadora para un caudal constante.



**Fotografía 10.8** Cambio de recolector de efluente de los filtros.



**Fotografía 10.9** Impermeabilización de niples de ingreso en reducción 8"x4" y del tapón de 4"



**Fotografía 10.10** Círculo de plancha perforada de acero inoxidable para base del medio de soporte.



**Fotografía 10.11** Canicas colocadas en la base de los filtros.



**Fotografía 10.12** Taper de 10 litros plástico adaptado como sedimentador.



**b. Etapa de selección de piedra chancada**



**Fotografía 10.13** Tamizado de piedra chancada.



**Fotografía 10.14** Limpieza y secado del material seleccionado

**c. Parámetros analizados**



**Fotografía 10.15** Aforo a la salida de los Filtros



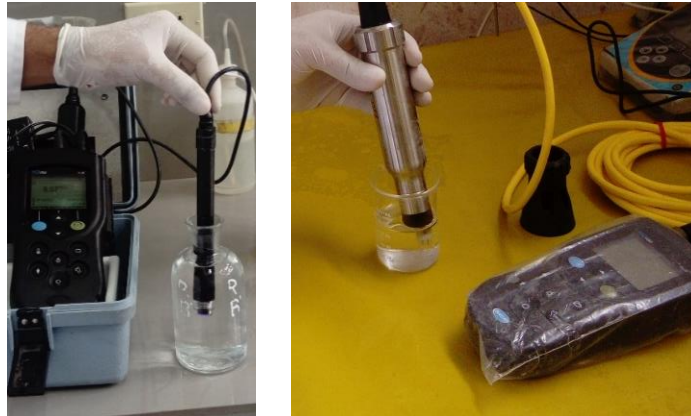
Fotografía 10.16 Termohigrómetro.



Fotografía 10.17 Lectura de Turbiedad y Conductividad en Laboratorio de CITRAR



Fotografía 10.18 Análisis en laboratorio de Sólidos Suspendidos Volátiles.



**Fotografía 10.19** Medición de Oxígeno disuelto con oxímetros

**d. Características física de los medios filtrantes**



**Fotografía 10.20** Cálculo de densidades de las *Argopecten purpuratus* y piedra chancada como medio filtrante en laboratorio



**Fotografía 10.21** Muestreo nocturno realizado para analizar el comportamiento hidráulico de los filtros.

En la fotografía 10.22 se muestran los medios de soporte al final de la investigación, con el biofilm adherido



**Fotografía 10.22** *Argopecten purpuratus* y piedra chancada al final de la investigación

Al inicio de la investigación se reservó una muestra de *Argopecten purpuratus* y piedra chancada para comparar con las utilizadas como medio de soporte. Se muestra la comparación en las fotografías 10.23 y 10.24.



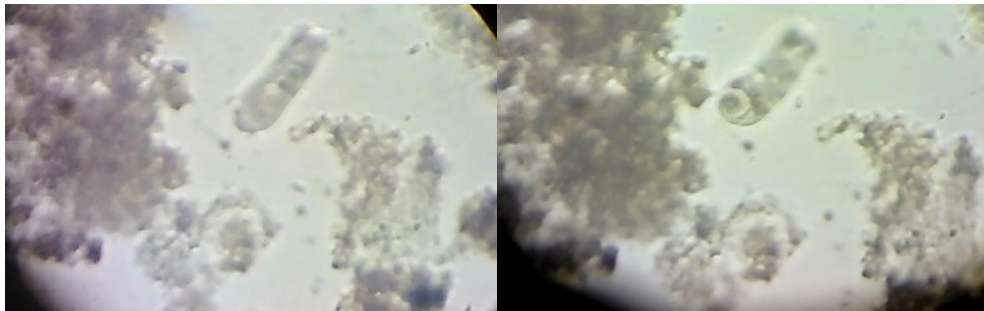
**Fotografía 10.23** *Argopecten purpuratus* con biofilm (izquierda) y sin biofilm (derecha)



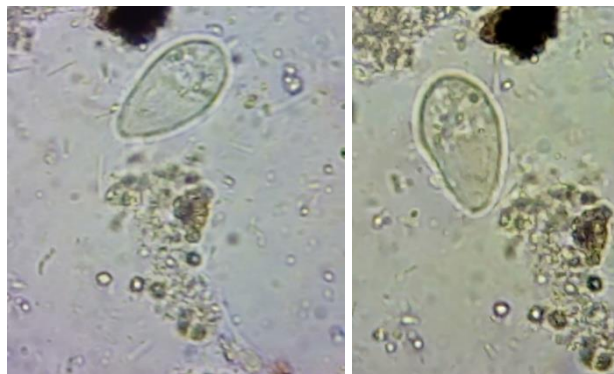
**Fotografía 10.24** Piedra chancada con biofilm (izquierda) y sin biofilm (derecha)

### e. Identificación de microorganismos

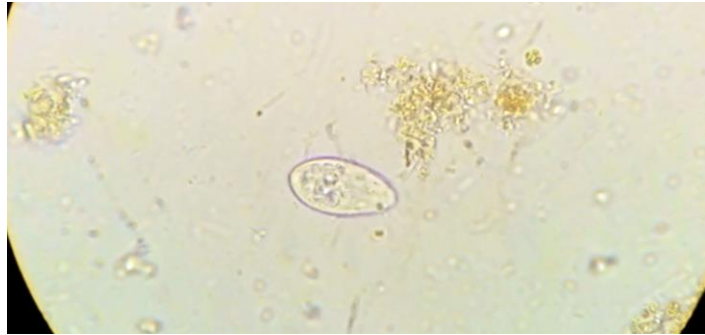
Los microorganismos observados en el microscopio óptico de CITRAR fueron los que típicamente se encuentran en las aguas residuales como es el caso de los protozoos ciliados y flagelados. Metcalf & Eddy mencionan que los “protozoos son generalmente en orden de magnitud más grande que las bacterias y usualmente las consumen por ser fuente de energía. En efecto, los protozoos actúan como pulidores de los efluentes de los procesos biológicos de tratamiento desagües al consumir bacterias y partículas de materia orgánica.”



**Fotografía 10.25** Peranema en biofilm de *Argopecten purpuratus* del Filtro F<sub>1</sub>



**Fotografía 10.26** Paramecium en biofilm de *Argopecten purpuratus* del Filtro F<sub>1</sub>.



**Fotografía 10.27** Paramecium en biofilm de piedra chancada del Filtro F<sub>2</sub>