

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“ESTUDIO DEL SISTEMA DOWNFLOW HANGING  
SPONGE (DHS) TIPO BLOQUES PRISMÁTICOS EN EL  
TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN REACTOR  
ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS Y FLUJO  
ASCENDENTE”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO SANITARIO**

**PRESENTADO POR:  
AMANCIO CASTRO, DIANA LUCIA  
CASTILLO VIDAL, HAROLD STEVEN**

**LIMA, PERÚ**

**2012**

**DEDICATORIA:**

A mis padres y hermanos, por brindarme siempre todo su amor, paciencia y apoyo incondicional.

**DIANA LUCIA AMANCIO CASTRO**

A mis padres, por su amor, sus enseñanzas y sus consejos; porque nunca se olvida lo que se aprende con cariño.

**HAROLD STEVEN CASTILLO VIDAL**

**AGRADECIMIENTOS:**

A la Msc. Ing. Rosa Yaya Beas, por brindarnos su apoyo incondicional y asesoramiento constante durante la realización de la presente tesis de investigación.

A nuestro gran amigo, el Ing. Juan Carlos Alarcón Córdor, Jefe de Planta de CITRAR-UNI, por su disposición, apoyo y asesoramiento constante.

Al Ing. Valery R. Mautino Cano, Jefe del Laboratorio N° 20 de la Facultad, por facilitarnos el uso de los materiales, reactivos y equipos del laboratorio.

Al Sr. Ricardo Andrés Jara Temple y a la Sra. Margarita Andreu Rivera, personal de apoyo del Laboratorio N° 20, por brindarnos su atención constante e incondicional.

**RESUMEN:**

La presente tesis de investigación buscó realizar el estudio de un nuevo sistema de tratamiento secundario para aguas residuales domésticas. Este sistema denominado *Downflow Hanging Sponge* (DHS), que significa sistema de esponjas colgantes con flujo vertical y descendiente, fue construido utilizando 19,050cm<sup>3</sup> de esponja de poliuretano como material filtrante y distribuido equitativamente en 20 bloques prismáticos.

El sistema, diseñado a escala piloto, fue evaluado en el tratamiento del efluente de un reactor de tratamiento primario denominado *Reactor Anaerobio de Manto de Lodos y Flujo Ascendente* (RAMLFA). El cual, al ser anaerobio y de flujo ascendente, se complementó eficientemente con el sistema DHS, aerobio y de flujo descendente. Siendo así, la combinación de los sistemas RAMLFA-DHS, una alternativa de bajo costo y apropiada para países en vías de desarrollo.

Los parámetros de diseño fueron establecidos en un caudal de ingreso de 1 ml/seg y un tiempo de retención hidráulico de 1.25 horas; obteniendo así, una eficiencia promedio en remoción de carga orgánica de 87.34% y una eficiencia promedio en remoción de coliformes fecales de 92.78%.

De los parámetros fisicoquímicos evaluados, se obtuvieron en promedio porcentajes de eficiencia mayores al 80% en remoción de turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y alcalinidad. Así como, una eficiencia promedio del 63.87% en remoción de la demanda química de oxígeno total (DQO<sub>Total</sub>); el incremento promedio en los niveles de oxígeno disuelto, de 2.25 a 4.91 mg/L; y una producción promedio de lodos de 1.69 ml/día.

Entre las principales ventajas del sistema DHS Tipo Bloques Prismáticos se encuentra su estructura simple y compacta, la cual no demanda grandes áreas de terreno para su construcción. Además; presenta una baja producción de lodos y una baja demanda de energía, ya que no requiere de aireación artificial. Por último; el sistema requiere de menos operación y mantenimiento, en comparación a otros sistemas de tratamiento secundario.

## INDICE

<b>DEDICATORIA</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>IV</b>
<b>CAPITULO 1</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2</b>	<b>2</b>
<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>2</b>
2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
<b>2.2 OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>4</b>
<b>2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS</b>	<b>4</b>
<b>2.4 HIPÓTESIS</b>	<b>4</b>
<b>2.5 VARIABLES DEL ESTUDIO</b>	<b>5</b>
2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES	5
2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES:	5
2.5.3 VARIABLES INTERVINIENTES	6
2.5.4 PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESOS	6
<b>2.6 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS</b>	<b>9</b>
<b>2.7 MARCO LEGAL</b>	<b>12</b>
2.7.1 ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERU	12
2.7.2 ENTIDADES INVOLUCRADAS	14
<b>CAPITULO 3</b>	<b>15</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>15</b>
<b>3.1 INFORMACIÓN GENERAL</b>	<b>15</b>

<b>3.2 SISTEMA DE POST-TRATAMIENTO DHS</b>	<b>16</b>
3.2.1 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE POST-TRATAMIENTO DHS	17
3.2.2 RENDIMIENTOS DEL SISTEMA DE POST-TRATAMIENTO DHS	18
<b>3.3 ANTECEDENTES</b>	<b>19</b>
<b>CAPITULO 4</b>	<b>29</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>29</b>
<b>4.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO</b>	<b>29</b>
<b>4.2 TIPOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS</b>	<b>31</b>
4.2.1 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	31
4.2.2 FILTROS PERCOLADORES	34
4.2.3 BIODISCOS	35
<b>4.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO</b>	<b>37</b>
<b>CAPITULO 5</b>	<b>38</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>38</b>
<b>5.1 UBICACIÓN DEL SISTEMA</b>	<b>38</b>
<b>5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA</b>	<b>38</b>
<b>5.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA</b>	<b>42</b>
<b>5.4 DISEÑO DEL SISTEMA</b>	<b>43</b>
5.4.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE	43
5.4.2 POROSIDAD	45
5.4.3 CAUDAL DE DISEÑO	48
5.4.4 VOLUMEN DEL MATERIAL FILTRANTE	48
5.4.5 DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE	49
5.4.6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES	50
<b>5.5 DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO</b>	<b>55</b>
<b>5.6 PARAMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL</b>	<b>56</b>
5.6.1 PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	56
5.6.2 PARÁMETROS BIOLÓGICOS	56
<b>5.7 CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL</b>	<b>57</b>

<b>5.8</b>	<b>PARÁMETROS EVALUADOS</b>	<b>59</b>
5.8.1	TEMPERATURA AMBIENTAL	59
5.8.2	TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO Y PH	59
5.8.3	TURBIEDAD	60
5.8.4	SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES	61
5.8.5	CONDUCTIVIDAD	63
5.8.6	OXÍGENO DISUELTO	64
5.8.7	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	64
5.8.8	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL	66
5.8.9	NITRITOS	69
5.8.10	NITRATOS	70
5.8.11	ALCALINIDAD	71
5.8.12	PRODUCCIÓN DE LODOS	73
5.8.13	COLIFORMES FECALES O TERMOTOLERANTES	73
5.8.14	IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS	78
<b>5.9</b>	<b>PERIODICIDAD DE ANÁLISIS MONITOREADOS</b>	<b>78</b>
<b>5.10</b>	<b>PERIODOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>81</b>
<b>5.11</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS DURANTE EL PERIODO DE PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA</b>	<b>82</b>
5.11.1	EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL	82
5.11.2	EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO	84
5.11.3	EN EL SISTEMA RECOLECTOR DE CAUDAL	86
5.11.4	EN EL SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN Y SALIDA	87
5.11.5	EN LAS ZONAS DE AIREACIÓN	87
<b>5.12</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS DURANTE EL PERIODO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA</b>	<b>88</b>
<b>5.13</b>	<b>TÉCNICAS DE MUESTREO</b>	<b>89</b>
<b>CAPITULO 6</b>		<b>90</b>
<b>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>		<b>90</b>

<b>6.1</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS POR SEMANA</b>	<b>90</b>
<b>6.2</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO</b>	<b>102</b>
6.2.1	PARÁMETROS EVALUADOS	102
A)	TEMPERATURA AMBIENTAL	102
B)	TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO	104
C)	PH	112
D)	TURBIEDAD	117
E)	SÓLIDOS TOTALES	119
F)	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	122
G)	SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES	124
H)	CONDUCTIVIDAD	126
I)	OXÍGENO DISUELTO	127
J)	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	129
K)	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL	130
L)	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SUSPENDIDA	131
M)	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COLOIDAL	132
N)	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE	133
O)	NITRITOS	134
P)	NITRATOS	136
Q)	ALCALINIDAD	137
R)	CARGA ORGÁNICA	138
S)	PRODUCCIÓN DE LODOS	139
T)	COLIFORMES FECALES	140
6.2.2	EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS	141
<b>6.3</b>	<b>RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS</b>	<b>146</b>
6.3.1	MICROORGANISMOS EN EL MATERIAL FILTRANTE	151
6.3.2	MICROORGANISMOS EN EL LODO	155
<b>CAPITULO 7</b>		<b>158</b>
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>		<b>158</b>
<b>7.1</b>	<b>DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS</b>	<b>158</b>
7.1.1	TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO	158



7.1.2	TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO Y PH	160
7.1.3	TURBIEDAD	162
7.1.4	SÓLIDOS TOTALES	166
7.1.5	SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	167
7.1.6	SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES	168
7.1.7	CONDUCTIVIDAD	169
7.1.8	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	172
7.1.9	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL	176
7.1.10	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SUSPENDIDA	177
7.1.11	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COLOIDAL	178
7.1.12	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE	178
7.1.13	COMPOSICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	180
7.1.14	COMPARACIÓN ENTRE LA DBO <sub>5</sub> Y LA DQO <sub>TOTAL</sub>	183
7.1.15	NITRITOS Y NITRATOS	184
7.1.16	ALCALINIDAD	186
7.1.17	CARGA ORGÁNICA	187
7.1.18	RELACIÓN ENTRE CARGA ORGÁNICA Y LA EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	191
7.1.19	RELACIÓN ENTRE CARGA ORGÁNICA Y LA PRODUCCIÓN DE LODOS	191
7.1.20	COLIFORMES FECALES	192
<b>7.2</b>	<b>DEL CUMPLIMIENTO DEL MARCO LEGAL</b>	<b>195</b>
7.2.1	CON RESPECTO A LOS ECA's	195
7.2.2	CON RESPECTO A LOS LMP's	197
<b>7.3</b>	<b>DEL ASPECTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>200</b>
<b>CAPITULO 8</b>		<b>201</b>
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>201</b>
<b>CAPITULO 9</b>		<b>207</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>207</b>
<b>CAPITULO 10</b>		<b>209</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>209</b>

A) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	209
B) REFERENCIAS EN LA WEB _____	212
<b>CAPITULO 11 _____</b>	<b>213</b>
<b>ANEXOS _____</b>	<b>213</b>
<b>11.1 ANEXO N° 1: MARCO LEGAL _____</b>	<b>214</b>
<b>11.2 ANEXO N° 2: PANEL FOTOGRÁFICO _____</b>	<b>241</b>
<b>11.3 ANEXO N° 3: IMÁGENES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS _____</b>	<b>245</b>

**INDICE DE CUADROS**

<i>Cuadro N° 4.1: Cuadro Comparativo de las principales Tecnologías Existentes en el Tratamiento Biológico</i>	37
<i>Cuadro N° 5.1: Tipos de Esponjas en Marca Zebra</i>	45
<i>Cuadro N° 5.2: Porosidad de los diferentes Tipos de Esponjas en Marca Zebra</i>	47
<i>Cuadro N° 5.3: Monitoreos Realizados</i>	58
<i>Cuadro N° 5.4: Periodos del Proyecto de Investigación</i>	82
<i>Cuadro N° 6.1: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 01 y 02</i>	91
<i>Cuadro N° 6.2: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 03 y 04</i>	92
<i>Cuadro N° 6.3: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 05 y 06</i>	93
<i>Cuadro N° 6.4: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 07 y 08</i>	94
<i>Cuadro N° 6.5: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 09 y 10</i>	95
<i>Cuadro N° 6.6: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 11 y 12</i>	96
<i>Cuadro N° 6.7: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 13 y 14</i>	97
<i>Cuadro N° 6.8: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 15 y 16</i>	98
<i>Cuadro N° 6.9: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 17 y 18</i>	99
<i>Cuadro N° 6.10: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 19 y 20</i>	100
<i>Cuadro N° 6.11: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 21 y 22</i>	101
<i>Cuadro N° 6.12: Clasificación del Periodo de Evaluación de acuerdo a las Estaciones del Año</i>	103
<i>Cuadro N° 6.13: Eficiencias del Reactor R1 en Remoción de Parámetros</i>	143
<i>Cuadro N° 6.14: Eficiencias del Reactor R2 en Remoción de Parámetros</i>	144
<i>Cuadro N° 6.15: Eficiencias Totales del Sistema en Remoción de Parámetros</i>	145
<i>Cuadro N° 6.16: Composición del Material filtrante</i>	153
<i>Cuadro N° 6.17: Identificación de Microorganismos en el Material Filtrante</i>	154
<i>Cuadro N° 6.18: Identificación de Microorganismos en el Lodo</i>	157
<i>Cuadro N° 7.1: Cuadro Comparativo entre los Resultados obtenidos mediante el Sistema DHS tipo bloques prismáticos y el Marco Legal Vigente</i>	199
<i>Cuadro N° 7.2: Cuadro Resumen de las Principales Actividades de Operación y Mantenimiento del Sistema DHS tipo Bloques Prismáticos</i>	200
<i>Cuadro N° 11.1: Estándares de Calidad Ambiental (ECA)</i>	218
<i>Cuadro N° 11.2: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR</i>	220
<i>Cuadro N° 11.3: Imágenes de los Resultados obtenidos durante los Muestreos Semanales</i>	246

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 6.1: Temperatura ambiental vs. Tiempo (Medición Diaria)	102
Gráfico N° 6.2: Temperatura ambiental vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	104
Gráfico N° 6.3: Temperatura en el punto de muestreo A vs. Tiempo (Medición Diaria)	105
Gráfico N° 6.4: Temperatura en el punto de muestreo A vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	106
Gráfico N° 6.5: Temperatura en el punto de muestreo B vs. Tiempo (Medición Diaria)	108
Gráfico N° 6.6: Temperatura en el punto de muestreo B vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	109
Gráfico N° 6.7: Temperatura en el punto de muestreo C vs. Tiempo (Medición Diaria)	110
Gráfico N° 6.8: Temperatura en el punto de muestreo C vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	111
Gráfico N° 6.9: Potencial de hidrógeno vs. Tiempo (Medición Diaria)	113
Gráfico N° 6.10: Potencial de hidrógeno vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	115
Gráfico N° 6.11: Turbiedad vs. Tiempo (Medición Diaria)	118
Gráfico N° 6.12: Turbiedad vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	119
Gráfico N° 6.13: Composición de los sólidos totales en el punto de muestreo A vs. Tiempo	120
Gráfico N° 6.14: Composición de los sólidos totales en el punto de muestreo B vs. Tiempo	121
Gráfico N° 6.15: Composición de los sólidos totales en el punto de muestreo C vs. Tiempo	121
Gráfico N° 6.16: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en el punto de muestreo A vs. Tiempo	122
Gráfico N° 6.17: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en el punto de muestreo B vs. Tiempo	123
Gráfico N° 6.18: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en el punto de muestreo C vs. Tiempo	123
Gráfico N° 6.19: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en el punto de muestreo A vs. Tiempo	125
Gráfico N° 6.20: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en el punto de muestreo B vs. Tiempo	125
Gráfico N° 6.21: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en el punto de muestreo C vs. Tiempo	126
Gráfico N° 6.22: Conductividad vs. Tiempo	127
Gráfico N° 6.23: Oxígeno disuelto vs. Tiempo (Medición Diaria)	128

Gráfico N° 6.24: Oxígeno disuelto vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	129
Gráfico N° 6.25: Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) vs. Tiempo	130
Gráfico N° 6.26: Demanda química de oxígeno total ( $DQO_{TOTAL}$ ) vs. Tiempo	131
Gráfico N° 6.27: Demanda química de oxígeno suspendida ( $DQO_{SUSPENDIDA}$ ) vs. Tiempo	132
Gráfico N° 6.28: Demanda química de oxígeno coloidal ( $DQO_{COLOIDAL}$ ) vs. Tiempo	133
Gráfico N° 6.29: Demanda química de oxígeno soluble ( $DQO_{SOLUBLE}$ ) vs. Tiempo	134
Gráfico N° 6.30: Nitritos ( $NO_2-N$ ) vs. Tiempo	135
Gráfico N° 6.31: Nitratos ( $NO_3-N$ ) vs. Tiempo	136
Gráfico N° 6.32: Alcalinidad y pH en los puntos de muestreo A, B y C durante la semana N°22 del periodo de evaluación	137
Gráfico N° 6.33: Carga orgánica (C) vs. Tiempo	139
Gráfico N° 6.34: Producción de lodos vs. Tiempo	140
Gráfico N° 6.35: Coliformes fecales vs. Tiempo	141
Gráfico N° 7.1: Temperatura ambiental y temperatura en los puntos de muestreo A, B y C vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	159
Gráfico N° 7.2: Relación entre la temperatura en los puntos de muestreo A, B y C y la temperatura ambiental vs. Tiempo	160
Gráfico N° 7.3: Temperatura y pH en el punto de muestreo A vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	161
Gráfico N° 7.4: Temperatura y pH en el punto de muestreo B vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	161
Gráfico N° 7.5: Temperatura y pH en el punto de muestreo C vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)	162
Gráfico N° 7.6: Eficiencias en remoción de turbiedad vs. Tiempo	163
Gráfico N° 7.7: Eficiencia del reactor R1 en remoción de turbiedad vs. Tiempo	164
Gráfico N° 7.8: Eficiencia del reactor R2 en remoción de turbiedad vs. Tiempo	165
Gráfico N° 7.9: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de turbiedad vs. Tiempo	166
Gráfico N° 7.10: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de sólidos totales vs. Tiempo	167
Gráfico N° 7.11: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de sólidos disueltos totales vs. Tiempo	168
Gráfico N° 7.12: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de sólidos volátiles totales vs. Tiempo	169
Gráfico N° 7.13: Eficiencias en remoción de conductividad vs. Tiempo	170
Gráfico N° 7.14: Eficiencia del reactor R1 en remoción de conductividad vs. Tiempo	171

Gráfico N° 7.15: Eficiencia del reactor R2 en remoción de conductividad vs. Tiempo	171
Gráfico N° 7.16: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de conductividad vs. Tiempo	172
Gráfico N° 7.17: DBO <sub>5</sub> del efluente vs. DBO <sub>5</sub> del afluente en el sistema DHS tipo bloques prismáticos	173
Gráfico N° 7.18: Eficiencias en remoción de DBO <sub>5</sub> vs. Tiempo	173
Gráfico N° 7.19: Eficiencia del reactor R1 en remoción de DBO <sub>5</sub> vs. Tiempo	174
Gráfico N° 7.20: Eficiencia del Reactor R2 en Remoción de DBO <sub>5</sub> vs. Tiempo	175
Gráfico N° 7.21: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DBO <sub>5</sub> vs. Tiempo	175
Gráfico N° 7.22: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO <sub>TOTAL</sub> vs. Tiempo	176
Gráfico N° 7.23: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO <sub>SUSPENDIDA</sub> vs. Tiempo	177
Gráfico N° 7.24: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO <sub>COLOIDAL</sub> vs. Tiempo	178
Gráfico N° 7.25: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO <sub>SOLUBLE</sub> vs. Tiempo	179
Gráfico N° 7.26: Composición de la DQO <sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo A vs. Tiempo	181
Gráfico N° 7.27: Composición de la DQO <sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo C vs. Tiempo	181
Gráfico N° 7.28: Composición en porcentajes de la DQO <sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo A vs. Tiempo	182
Gráfico N° 7.29: Composición en porcentajes de la DQO <sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo C vs. Tiempo	182
Gráfico N° 7.30: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) y Demanda química de oxígeno (DQO <sub>TOTAL</sub> ) el punto de muestreo A vs. Tiempo	183
Gráfico N° 7.31: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) y Demanda química de oxígeno (DQO <sub>TOTAL</sub> ) el punto de muestreo C vs. Tiempo	184
Gráfico N° 7.32: Nitritos y Nitratos en el punto de muestreo A vs. Tiempo	185
Gráfico N° 7.33: Nitritos y Nitratos en el punto de muestreo B vs. Tiempo	186
Gráfico N° 7.34: Nitritos y Nitratos en el punto de muestreo C vs. Tiempo	186
Gráfico N° 7.35: Eficiencias en remoción de alcalinidad durante la semana N° 22 del periodo de evaluación	187
Gráfico N° 7.36: Eficiencias en remoción de carga orgánica vs. Tiempo	188
Gráfico N° 7.37: Eficiencia del reactor R1 en remoción de carga orgánica vs. Tiempo	189
Gráfico N° 7.38: Eficiencia del reactor R2 en remoción de carga orgánica vs. Tiempo	190

<i>Gráfico N° 7.39: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de carga orgánica vs. Tiempo</i>	190
<i>Gráfico N° 7.40: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DBO<sub>5</sub> vs. Carga orgánica</i>	191
<i>Gráfico N° 7.41: Producción de lodos vs. Carga orgánica</i>	192
<i>Gráfico N° 7.42: Eficiencia del reactor R1 en remoción de coliformes fecales vs. Tiempo</i>	193
<i>Gráfico N° 7.43: Eficiencia del reactor R2 en remoción de coliformes fecales vs. Tiempo</i>	194
<i>Gráfico N° 7.44: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de coliformes fecales vs. Tiempo</i>	194

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3.1: Tipos de Reactores DHS de acuerdo a la Distribución del Material Filtrante</i>	17
<i>Figura 3.2: Concepto del Reactor DHS Tipo Cubo</i>	19
<i>Figura 3.3: Concepto del Reactor DHS Tipo Cortina</i>	20
<i>Figura 3.4: Diagrama Esquemático del Reactor DHS de Cuarta Generación a Escala Piloto</i>	23
<i>Figura 3.5: Esquema del Sistema UASB-DHS</i>	25
<i>Figura 3.6: Reactor DHS en construcción en la Karnal, India – 2001</i>	26
<i>Figura 3.7: Reactor DHS concluido en la Karnal, India – 2001</i>	27
<i>Figura 3.8: Diagrama Esquemático de un Sistema Combinado de Tratamiento Aguas Residuales Domesticas (UASB-DHS)</i>	28
<i>Figura 4.1: Regímenes de Mezcla de acuerdo a los Tipos de Lagunas Aireadas</i>	33
<i>Figura 4.2: Filtro Percolador</i>	35
<i>Figura 4.3: Esquema de una Unidad de Biodiscos Típica</i>	36
<i>Figura 5.1: Esquema del Recorrido del Agua Residual en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales del CITRAR-UNI</i>	39
<i>Figura 5.2: Vista Tridimensional y Dimensiones de una Esponja</i>	41
<i>Figura 5.3: Vista Tridimensional de R1 y R2</i>	50
<i>Figura 5.4: Vista de Planta, Frontal y Lateral de R1 y R2</i>	52



## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía N° 5.1: Ubicación del sistema DHS tipo bloques prismáticos</i>	38
<i>Fotografía N° 5.2: Vista general del sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto</i>	40
<i>Fotografía N° 5.3: Materiales utilizados en la construcción del sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto</i>	44
<i>Fotografía N° 5.4: Evaluación de la Porosidad</i>	46
<i>Fotografía N° 5.5: Esponja de Poliuretano Tipo Zebra 400</i>	47
<i>Fotografía N° 5.6: Sistema de Almacenamiento y Distribución de Caudal</i>	51
<i>Fotografía N° 5.7: Soporte del Reactor con Hilo de Pescar</i>	53
<i>Fotografía N° 5.8: Sistema Recolector de Caudal</i>	53
<i>Fotografía N° 5.9: Sistema de Sedimentación y Salida</i>	54
<i>Fotografía N° 5.10: Puntos de muestreo del Sistema DHS</i>	55
<i>Fotografía N° 5.11: Termómetro Ambiental</i>	59
<i>Fotografía N° 5.12: Medidor de pH y Temperatura</i>	59
<i>Fotografía N° 5.13: Colorímetro Hach DR/890</i>	60
<i>Fotografía N° 5.14: Papel Filtro Whatman 934-AH, Filtro de jeringa y Jeringa de plástico</i>	61
<i>Fotografía N° 5.15: Plancha Eléctrica y Desecador</i>	62
<i>Fotografía N° 5.16: Hornos Eléctricos</i>	62
<i>Fotografía N° 5.17: Mufla y Balanza Digital</i>	63
<i>Fotografía N° 5.18: Conductímetro Hanna HI/8733</i>	64
<i>Fotografía N° 5.19: Medidor de OD Hach Senslon 6</i>	64
<i>Fotografía N° 5.20: Frascos de vidrio, Difusor de aire e Incubadora</i>	65
<i>Fotografía N° 5.21: Viales para DQO de Rango Alto y Rango Bajo y Digestor Hach DRB 200</i>	66
<i>Fotografía N° 5.22: Filtro de Membrana marca Millipore y Papel Filtro marca Albet DP 5891</i>	68
<i>Fotografía N° 5.23: Reactivo Nitriver, Celdas Hach de 25ml y Colorímetro Hach DR/890</i>	69
<i>Fotografía N° 5.24: Nitrat-Test Merck y Tira de Ensayo</i>	71
<i>Fotografía N° 5.25: Matraz y Probeta de vidrio, Reactivo Ácido Sulfúrico e Indicadores Fenoltaleína y Anaranjado de Metilo</i>	72
<i>Fotografía N° 5.26: Cono Imhoff</i>	73
<i>Fotografía N° 5.27: Peptona, Autoclave y Frasco de 1Lt con Agua Peptonada</i>	74
<i>Fotografía N° 5.28: Placas Petri envueltas en Papel craft y Horno de Esterilización</i>	74

<i>Fotografía N° 5.29: Preparación de las Muestras Diluidas en Tubos Cónicos de 50ml_</i>	75
<i>Fotografía N° 5.30: Preparación del Agar Base m-FC _____</i>	75
<i>Fotografía N° 5.31: Vertimiento del Agar Base m-FC sobre las almohadillas o pads y Vista de los Filtros de Membrana _____</i>	76
<i>Fotografía N° 5.32: Utilización del Vaso de Filtración con Muestras Diluidas _____</i>	76
<i>Fotografía N° 5.33: Placa Petri conteniendo Filtro de Membrana (Blanco) e Incubadora _____</i>	77
<i>Fotografía N° 5.34: Formación de Colonias _____</i>	77
<i>Fotografía N° 5.35: Microscopio Zeizz _____</i>	78
<i>Fotografía N° 5.36: Vista General del Reactor UASB de CITRAR-UNI _____</i>	83
<i>Fotografía N° 5.37: Canaleta de salida del Reactor UASB de CITRAR-UNI _____</i>	83
<i>Fotografía N° 5.38: Detalle del Sistema Distribuidor de Caudal _____</i>	84
<i>Fotografía N° 5.39: Vista Lateral del Sistema Distribuidor de Caudal _____</i>	84
<i>Fotografía N° 5.40: Detalle del flujo en R1 y R2 _____</i>	85
<i>Fotografía N° 5.41: Esponjas verdes sobre Material Filtrante del Reactor R1 _____</i>	85
<i>Fotografía N° 5.42: Embudos de plástico sobre Material Filtrante del Reactor R2 _____</i>	86
<i>Fotografía N° 5.43: Reactor R1 y R2 envueltos en plástico _____</i>	86
<i>Fotografía N° 5.44: Reactor R1 y R2 envueltos en plástico _____</i>	87
<i>Fotografía N° 5.45: Sedimentador envuelto en plástico _____</i>	87
<i>Fotografía N° 5.46: Mallas de plástico en Zonas de Aireación _____</i>	88
<i>Fotografía N° 5.47: Reubicación de los embudos de plástico _____</i>	88
<i>Fotografía N° 5.48: Tomador de muestra _____</i>	89
<i>Fotografía N° 5.49: Tomador de muestra en el Punto A y B _____</i>	89
<i>Fotografía N° 5.50: Muestreo del Punto C y Muestras A-B-C _____</i>	89
<i>Fotografía N° 6.1: Vista Lateral de la Formación de Biomasa en el Sistema DHS _____</i>	146
<i>Fotografía N° 6.2: Vista Frontal de la Formación de Biomasa en el Sistema DHS _____</i>	147
<i>Fotografía N° 6.3: Formación de Material Grasoso sobre las Esponjas Verdes de fregar _____</i>	147
<i>Fotografía N° 6.4: Detalle de Material Grasoso _____</i>	148
<i>Fotografía N° 6.5: Coloración del Material Filtrante durante la Formación de Biomasa</i>	148
<i>Fotografía N° 6.6 Aparición de Huevos y Larvas de Dípteros sobre el Material Filtrante _____</i>	149
<i>Fotografía N° 6.7 Mosca Palomilla (Psychoda spp.) _____</i>	149
<i>Fotografía N° 6.8 Estados de la especie Psychoda spp. _____</i>	150
<i>Fotografía N° 6.9 Lodo Sedimentado _____</i>	155
<i>Fotografía N° 6.10 Consistencia del Lodo Sedimentado _____</i>	155
<i>Fotografía N° 6.11 Dípteros (Larva) y Rotíferos encontrados en el Lodo _____</i>	156

<i>Fotografía N° 11.1 Toma de Muestra en el Punto C</i>	242
<i>Fotografía N° 11.2 Preparación de Diluciones para la Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	242
<i>Fotografía N° 11.3 Tesistas durante la Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Totales</i>	243
<i>Fotografía N° 11.4 Determinación del Oxígeno Disuelto en los Puntos de muestreo A, B y C mediante el Método de Winkler</i>	243
<i>Fotografía N° 11.5 Muestras obtenidas del material filtrante (esponja) de los Reactores R1 (izquierda) y R2 (derecha)</i>	244
<i>Fotografía N° 11.6 Resultados obtenidos durante la Determinación de Coliformes Fecales en el Afluente (izquierda) y el Efluente (derecha) del Sistema DHS tipo Bloques Prismáticos</i>	244

## CAPITULO 1

### INTRODUCCIÓN

El uso del reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (conocido como RAMLFA o UASB) en el tratamiento de aguas residuales domésticas es poco utilizado en nuestro país. Esta tecnología de tratamiento primario se ha desarrollado e implementado en muchas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en países como Japón, India y Brasil; obteniendo buenos resultados. Sin embargo, es aún necesario mejorar la calidad de los efluentes anaerobios.

En el presente estudio de investigación se evalúa la eficiencia de una nueva alternativa de tratamiento que complementa el proceso anaerobio y que permite una mayor remoción de carga orgánica. Esta tecnología es llamada Downflow Hanging Sponge (DHS) y consiste en un innovador filtro percolador colgante con esponjas de poliuretano como soporte.

La investigación se llevó a cabo realizando un montaje de dos reactores de tratamiento secundario en serie y a escala piloto, dentro de las instalaciones del Centro de Investigación de Aguas Residuales y Residuos Sólidos de la Universidad Nacional de Ingeniería (CITRAR-UNI). Además se realizó la medición de diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos; como la demanda química de oxígeno total ( $DQO_{Total}$ ), demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), oxígeno disuelto, sólidos totales, sólidos volátiles totales, sólidos disueltos totales, nitratos, nitritos, alcalinidad, coliformes fecales, temperatura del ambiente, temperatura en el punto de muestreo, pH, turbiedad, conductividad y producción de lodos.

Dando inicio al periodo de investigación el día 7 de febrero del 2011; al periodo de puesta en marcha, el día 17 de mayo del mismo año; y al periodo de evaluación o de monitoreo, el día 30 de mayo del mismo año, por un periodo de duración de 22 semanas, hasta el día 28 de octubre del mismo año.

## CAPITULO 2

### DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

##### 2.1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional genera un incremento de la evacuación de aguas residuales domésticas, lo que conlleva a la búsqueda de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales domésticas a nivel nacional, lo cual constituye un factor importante para la salud pública y el medio ambiente.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en la actualidad están compuestos, en su mayoría, por sistemas convencionales de tratamiento, como los son las lagunas facultativas y las lagunas aireadas mecánicamente.

Además; existe un tipo de tratamiento primario, poco utilizado en nuestra realidad, que consiste en un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMLFA), denominado también UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). No obstante, la aplicación de esta tecnología de tratamiento primario, necesita de un tratamiento posterior o secundario, que logre la degradación de la materia orgánica remanente y de los coliformes fecales.

El post-tratamiento de los efluentes de los reactores UASB consiste en sistemas convencionales y aerobios, como el uso de lagunas facultativas, plantas de lodos activos entre otros; lo cual implica el uso de grandes extensiones de terreno, elevados costo de operación (energía) y mantenimiento, y en algunos casos exceso de producción de lodos.

### **2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El elevado crecimiento poblacional en nuestro país, provoca que las actuales plantas de tratamiento de agua residual, que en su mayoría utilizan procesos aerobios, se vean como subdimensionadas, lo cual genera la necesidad de implementar nuevas plantas de tratamiento; sin embargo, cada vez hay una escasez de grandes áreas de terreno donde proyectarlas.

El uso de tratamientos anaerobios como los reactores UASB no ocupan grandes extensiones de terreno; sin embargo, no satisfacen las normas legales, siendo necesaria la aplicación de un post-tratamiento que dé resultados excelentes, que ocupen el menor espacio posible, que impliquen un mínimo consumo de energía, y bajo costo de inversión, operación y mantenimiento.

### **2.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Si bien el uso de lagunas aireadas y facultativas han funcionado correctamente como sistemas de tratamiento secundario de los efluentes de un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMLFA). En la actualidad, no se cuenta con grandes extensiones de terreno para la proyección de estos sistemas.

La tecnología denominada Downflow Hanging Sponge (DHS) es una alternativa de tratamiento de los efluentes de este tratamiento primario, la cual ha dado buenos resultados en países como: India, Brasil, Japón. Además, esta tecnología mantiene su eficiencia en diversos tipos de clima y puede funcionar en conjunto con el RAMLFA, como un sistema compacto. Es por ello, que es necesario el estudio y la evaluación de esta nueva alternativa para las características del agua residual de nuestro país.

## 2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

Estudiar el comportamiento y la eficiencia de un reactor *Downflow Hanging Sponge* (DHS) tipo bloques prismáticos, como tratamiento aerobio secundario al efluente de un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMLFA), utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas a escala piloto.

## 2.3 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Evaluar la eficiencia en remoción de la demanda química de oxígeno total y soluble del reactor DHS tipo bloques prismáticos.
- Evaluar la eficiencia en remoción de los sólidos disueltos totales y sólidos volátiles totales del reactor DHS tipo bloques prismáticos.
- Evaluar la eficiencia en remoción de organismos patógenos del reactor DHS tipo bloques prismáticos.
- Evaluar la concentración de nitritos y nitratos en el reactor DHS tipo bloques prismáticos.
- Determinar el tipo de microorganismos presentes en las esponjas del reactor DHS.
- Medir el crecimiento del lodo en exceso existente en las esponjas.
- Determinar los criterios adecuados para la operación y mantenimiento del sistema DHS tipo bloques prismáticos.

## 2.4 HIPÓTESIS

Con el sistema de tratamiento secundario *Downflow Hanging Sponge* (DHS) tipo bloques prismáticos, como post-tratamiento al reactor de tratamiento primario anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMLFA), se alcanzarán remociones mayores al 80% de carga orgánica y coliformes termotolerantes en aguas residuales domésticas, superando los resultados normalmente obtenidos mediante sistemas convencionales.

## 2.5 VARIABLES DEL ESTUDIO

Dado que la presente tesis pretende explicar experimentalmente y en función a teoría la hipótesis planteada, las variables e indicadores han sido clasificadas en el siguiente orden:

### 2.5.1 VARIABLES DEPENDIENTES

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

- ✓ Concentración de materia orgánica en el efluente.
- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en el efluente.
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el efluente.
- ✓ Oxígeno Disuelto (OD) en el efluente.
- ✓ Concentración de coliformes termotolerantes en el efluente.
- ✓ La velocidad de crecimiento de biomasa en las esponjas.

### 2.5.2 VARIABLES INDEPENDIENTES:

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

- ✓ **Calidad del agua en el afluente:** Propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua residual que ingresa al reactor DHS.
- ✓ **Tiempo:** Hace referencia al tiempo de duración de la etapa de monitoreo; ya que las variables dependientes variaran durante esta etapa, esto se verá reflejado en las gráficas.



- ✓ **El caudal del afluente:** Es el volumen de agua que pasa por una sección dada en una determinada unidad de tiempo. Para este estudio el caudal del efluente fue uniforme.

### 2.5.3 VARIABLES INTERVINIENTES

Para el presente estudio de investigación la variable interviniente es la siguiente:

- ✓ **Clima:** Conjunto de fenómenos atmosféricos y meteorológicos, tales como: la temperatura, el régimen de lluvias, las estaciones del año. Los cuales son considerados como influyen en el sistema de tratamiento estudiado.

### 2.5.4 PARÁMETROS DE CONTROL DE PROCESOS

Con relación a los indicadores de contaminación del agua residual para la evaluación de la eficiencia del reactor DHS, se han considerado para el proceso de monitoreo los siguientes:

- ✓ **Alcalinidad:** La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos, los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de los pH producidos por la adición de ácidos.
- ✓ **Carga orgánica:** Cantidad de materia orgánica, generalmente medida como  $DBO_5$ , aplicada a un proceso de tratamiento dado; expresada como peso por unidad de tiempo por unidad de superficie o por unidad de peso.

- ✓ **Coliformes fecales:** Bacterias aerobias gram-negativas, no formadoras de esporas, de forma bacilar y que, incubadas 44.5° C, fermentan la lactosa en un término de 48 horas, con producción de gas.
  
- ✓ **Conductividad:** Es una medida de la habilidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica. La unidad de medición es el siemens/centímetro. El agua con sustancias iónicas disueltas tiene una buena conductividad, por lo que la medida de la conductividad del agua también sirve para medir la salinidad.
  
- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Demanda bioquímica de oxígeno (en mg/l). Es la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer biológicamente la materia orgánica carbonácea. Es el parámetro de mayor importancia en la valoración del grado de degradación de la materia orgánica. Se determina en laboratorio a una temperatura de 20° C y en 5 días.
  
- ✓ **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** La demanda química de oxígeno es el parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra química.

En aguas residuales un valor de la relación DBO/DQO menor de 0,2 se interpreta como un vertido de tipo inorgánico y orgánico si es mayor de 0,6.

- ✓ **DQO soluble:** Nos indica la cantidad de materia que nuestros microorganismos no están consumiendo. Un DQO total nos indica el "universo de comida" presente (materia orgánica biodegradable + no biodegradable).

- ✓ **Nitratos:** Sales del ácido nítrico se denominan nitratos. El nitrato de potasio, o salitre, y el nitrato de sodio son los nitratos más importantes comercialmente. Casi todos los nitratos son solubles en agua.
- ✓ **Nitritos:** Sal resultante de la combinación del ácido nitroso con una base. Radical  $\text{NO}_2$ , forma de nitrógeno acabado en el proceso de nitrificación del amonio por la bacteria *Nitrosomonas* sp.
- ✓ **Oxígeno Disuelto (OD):** El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de contaminación. Generalmente, un nivel alto de OD indica agua de mejor calidad. Si los niveles de OD son bajos, algunos peces y otros organismos no pueden vivir.
- ✓ **Potencial de Hidrógeno (pH):** La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia para las aguas residuales. El agua residual con el pH inadecuado presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración del pH de los cuerpos receptores.
- ✓ **Sólidos Totales (ST):** Permitirá cuantificar el contenido de sólidos presentes en los el afluente del reactor DHS tipo bloques prismáticos y su remoción a la salida de cada uno de las dos unidad en serie, durante el tiempo de duración del ensayo.
- ✓ **Sólidos Disueltos (SD):** Sólidos que pasan a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. Es una medida de las sustancias orgánicas e inorgánicas.

- ✓ **Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):** corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a  $550 \pm 50$  °C y se determinan por diferencia de peso.
- ✓ **Sólidos Sedimentables (SS):** Volumen de las partículas sólidas que se depositan por la fuerza de la gravedad en un recipiente donde el líquido permanezca inmóvil durante 60 minutos.
- ✓ **Temperatura:** Este indicador será monitoreado con motivos referenciales, ya que existe una relación directa entre las variaciones de la temperatura y la actividad microbiana.
- ✓ **Turbiedad:** Condición del agua o de las aguas residuales causada por la presencia de materia en suspensión que produce la dispersión y absorción de la luz. La turbiedad no es generalmente usada como forma de control de aguas residuales crudas pero puede ser medida para caracterizar la eficiencia del tratamiento secundario una vez que, puede ser relacionada con la concentración de sólidos en suspensión.

## 2.6 DEFINICIONES DE TÉRMINOS BÁSICOS

- ✓ **Absorción:** Fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólidos, por difusión.
- ✓ **Adsorción:** Fenómeno físico-químico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas o líquidas en la superficie.
- ✓ **Aerobio:** Condición en la cual hay presencia de aire u oxígeno libre.
- ✓ **Anaerobio:** Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.

- ✓ **Afluente:** Agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
- ✓ **Efluente:** Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
- ✓ **Agua residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.
- ✓ **Agua residual doméstica:** Aguas residuales de origen doméstico, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- ✓ **Agua residual municipal:** Aguas residuales domésticas que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.
- ✓ **Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para determinación de constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.
- ✓ **Bicarbonatos:** Los bicarbonatos son sales derivadas del ácido carbónico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , que contienen el anión  $\text{HCO}_3^-$ . Una de las funciones principales del bicarbonato es transportar el  $\text{CO}_2$ .
- ✓ **Carbonatos:** Compuestos que contienen el ion carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$  y se derivan del ácido carbónico  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , que se forma al disolver dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en agua. La mayoría de los carbonatos, aparte de los carbonatos de los metales alcalinos, son poco solubles en agua.
- ✓ **Hidróxido:** Los hidróxidos son un grupo de compuestos químicos formados por un metal y uno o varios aniones hidroxilos.

- ✓ **Concentración:** Cantidad de una sustancia disuelta en una unidad de volumen de solución o aplicada a un peso unitario de sólidos.
- ✓ **Muestreo:** Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro a medir.
- ✓ **DBO<sub>5</sub>:** Demanda bioquímica adherida a un medio sólido y que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica. La relación entre DBO y DQO es un indicador de la degradación de la materia contaminante.
- ✓ **DQO:** Demanda química de oxígeno, que expresa la cantidad de oxígeno consumida por los cuerpos reductores en un agua sin intervención de los microorganismos.
- ✓ **pH:** Logaritmo de signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno expresado en moles por litro.
- ✓ **PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ **DHS:** Siglas en inglés de Downflow Hanging Sponge (Flujo descendente sobre esponjas colgantes).
- ✓ **RAFA:** Reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente. Con sus siglas en inglés UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).
- ✓ **RBC:** Sigla en inglés de Contactores Biológicos Rotatorios, comúnmente conocidos como Biodiscos.
- ✓ **Tratamiento primario:** Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.
- ✓ **Tratamiento secundario:** Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

- ✓ **Eficiencia de tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentajes.

## 2.7 MARCO LEGAL

### 2.7.1 ASPECTOS LEGALES DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERU

A continuación se indican los principales documentos legales emitidos por el Gobierno Peruano. (Ver Anexo N°1, para mayor detalle):

- A) Constitución Política del Perú 1993.  
Artículos 66° y 68°.
- B) Ley de Reforma sobre Descentralización: Ley N° 27680.  
Artículos 192° y 195°.
- C) Ley General de Salud: Ley N°26842.  
Artículos 96° y 104°.
- D) Ley General del Ambiente: Ley N° 28611.  
Artículos 29°, 31°, 32°, 120°, 121° y 122°.
- E) Estándares de Calidad ambiental (ECA) para agua: Decreto Supremo N° 002-2008 MINAM.  
Estándares de Calidad ambiental (ECA) para agua - Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales.
- F) Disposiciones para la implementación de los ECA para agua: Decreto Supremo N° 023-2009 MINAM.  
Artículos 2° y 7°.
- G) Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR domesticas o municipales: Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM.  
Artículos 1° y 3°.

- H) Ley marco para el crecimiento de la Inversión Privada: Decreto Legislativo N°757.  
Artículos 53° y 55°.
- I) Ley Orgánica de Gobiernos Regionales: Ley N° 27902.
- J) Ley Orgánica de Municipalidades: Ley N° 27972.  
Artículos 80° y 141°.
- K) Ley de creación, organización y funciones del MINAM: Decreto Legislativo N° 1013.  
Artículos 1°, 3°, 6° y 7°.
- L) Ley de Recursos Hídricos: Ley N° 29338 (2009).  
Artículos 5°, 9°, 10°, 11°, 25°, 34°, 44°, 45°, 59°, 73°, 75°, 76°, 79°, 80°, 81°, 82°, 83°, 92°, 120°, 121°, 122°, 125°.
- M) Resolución Jefatural N°0291-ANA.  
Artículos 1°, 2° y 6°.
- N) Resolución Jefatural N°0351-ANA.
- O) TUPA MINSA y sus órganos desconcentrados: D.S. N° 013-2009-SA.
- P) Ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental: Ley N° 27446. Artículos 1°, 5° y 15°.
- Q) Ley General de servicios de saneamiento: Ley N° 26338.  
Artículos 4°, 8°, 9° y 10°.
- R) Reglamento de la ley general de servicios de saneamiento: D.S. N° 09-95-PRES.  
Artículos 17°, 55° y 56°.
- S) Directiva N° 180-97 SUNASS.  
N° 05.



- T) Código del medio ambiente: D.L. N° 613.  
Artículos 107°, 113° y 114°.
- U) Resolución ministerial N° 0030-84.S.A./DVM.  
Artículos 1° y 4°.
- V) Código penal: D.L. N° 635.  
Artículos 304°, 305 y 307°.

### **2.7.2 ENTIDADES INVOLUCRADAS**

A continuación se indican las principales entidades involucradas en el cumplimiento del marco legal.

- A) Ministerio del Ambiente (MINAM)
- B) Autoridad Nacional del Agua (ANA)
- C) Ministerio de Agricultura (MINAG)
- D) Ministerio de Economía y Finanzas (MEF)
- E) Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- F) Superintendencia Nacional de Servicio de Saneamiento (SUNASS)
- G) Ministerio de Salud (MINSAs)

## CAPITULO 3

### ANTECEDENTES

#### 3.1 INFORMACIÓN GENERAL

En 1937, el poliuretano fue inventado por Otto Bayer, en los laboratorios de IG Farben, en Leverkusen (Alemania). La producción industrial empezó en 1940. Sin embargo, ésta disminuyó debido a la falta de recursos por la Segunda Guerra Mundial.

Entre las ventajas del poliuretano tenemos la alta porosidad interna, área de alta superficie, una buena resistencia a múltiples productos químicos y al calor, no perjudica al ambiente, buenas características de envejecimiento, y una buena adherencia a casi todos los materiales y corrientes [Pasic; 1990].

La aplicación de poliuretano como material de apoyo en una variedad de tecnologías de tratamiento de aguas residuales ha sido reportada por varios investigadores [Machdar I.; 2001].

La esponja es favorable para el crecimiento de biomasa. El afluente de las aguas residuales es suministrado en la parte superior del bio-reactor y naturalmente impregna por medio de la gravedad en la esponja. Durante el metabolismo, la biomasa inmovilizada y activa consume los nutrientes de los flujos residuales y simultáneamente toma hasta el oxígeno disuelto, lo que naturalmente se toma del medio ambiente.

La característica más importante del reactor DHS es el no requerimiento de aireación externa, permitiendo mantener un tiempo de retención de lodos muy largo (SRT) que es favorable para la remoción orgánica y el proceso de nitrificación [Machdar, Faisal; 2011]

### 3.2 SISTEMA DE POST-TRATAMIENTO DHS

El uso de reactores UASB para el tratamiento de aguas residuales domésticas y municipales es una tecnología probada. Muchos reactores UASB a gran escala han sido construidos y están en funcionamiento en varios países en desarrollo como India, Brasil, Colombia, Egipto, etc. [Alaerts et al.; 1993]. Sin embargo, el tratamiento por solamente UASB no es suficiente para poder cumplir con las normas de descarga de esos países. Muchos investigadores han recomendado la necesidad de una unidad de post-tratamiento adicional para el tratamiento de efluentes del UASB [Draaijer et al.; 1992]

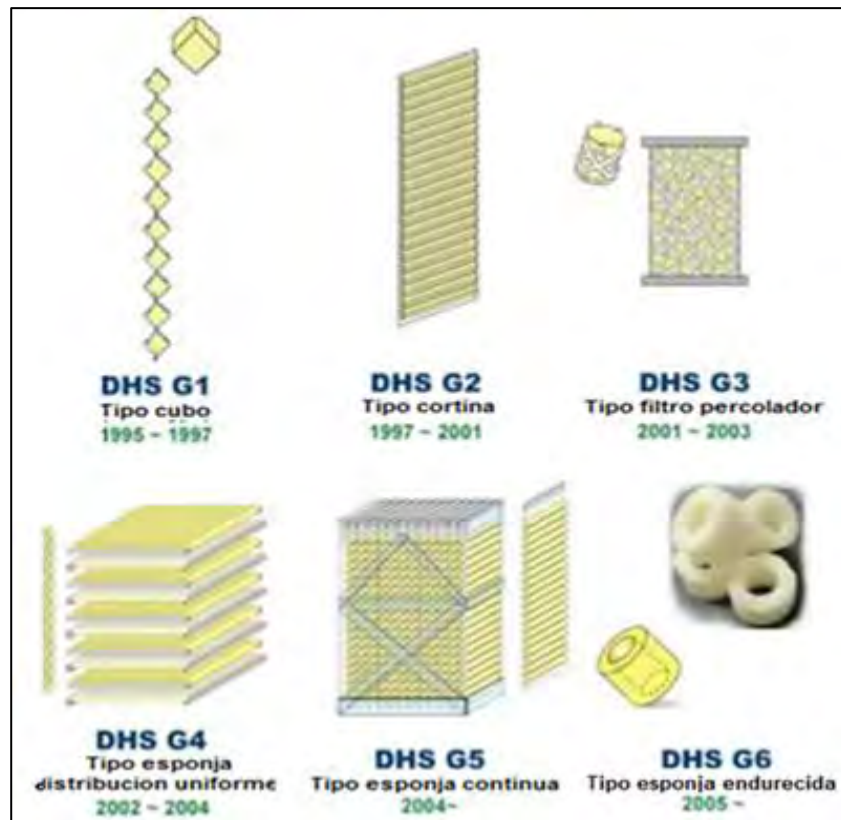
La incorporación de los grandes estanques y lagunas de facultativas son en general las más destacadas tecnologías como una unidad de post-tratamiento del reactor UASB especialmente para la eliminación de patógenos [Maynard et al.; 1999]. En otros casos el UASB es complementado por filtros percoladores, RBC, etc., pero ninguna de ellas asegura satisfactoriamente la calidad del efluente, especialmente para países en desarrollo.

Para encontrar una solución a todos estos problemas, una nueva idea fue trabajada sobre desarrollar un nuevo sistema de post-tratamiento por un equipo de investigación del Prof. Harada en la Universidad Tecnológica de Nagaoka, Japón [M. Tandukar et al.; 2005]. El nuevo sistema fue llamado DHS (*Downflow Hanging Sponge: Flujo descendente en esponjas colgantes*). El principio del sistema del DHS es el uso de una esponja de poliuretano como un medio de crecimiento y soporte de diversos microorganismos, proporcionando un mayor tiempo de residencia celular y, al mismo tiempo mejorar la difusión de aire en las aguas residuales, reduciendo la necesidad de una ventilación forzada externa a diferencia de la mayoría de sistemas de tratamiento aerobio existentes. La esponja tiene un índice de vacío alto, lo que proporciona un excelente medio para el crecimiento y adhesión de la biomasa activa.

Varios reactores DHS han sido desarrollados hasta ahora con nombres tales como "de primera generación o el DHS tipo cubo" [Machdar et al; 1997], "de segunda generación o DHS tipo cortina" [Machdar et al; 2000] y "de tercera generación o DHS tipo filtro percolador", que difieren en la forma y disposición de las esponjas [M. Tandukar et al.; 2005].

### 3.2.1 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE POST-TRATAMIENTO DHS

La evolución de las formas de instalación de las esponjas de poliuretano en un sistema de post-tratamiento DHS corresponde a seis tipos o generaciones (Ver Figura N° 3.1), las cuales en su mayoría fueron investigadas en Nagaoka, Japón.



**Figura 3.1: Tipos de Reactores DHS de acuerdo a la Distribución del Material Filtrante**

*Fuente: Exposición "Indian-Japan International Collaboration for an innovative sewage treatment technology with cost-effective and minimum energy requirement" - Hideki Harada.*

La primera generación comprende a las esponjas de poliuretano en tipo cubo, el cual fue investigado entre los años 1995 y 1997; la segunda generación corresponde a las esponjas de poliuretano de tipo cortina, investigado entre los años 1997 y 2001.

Posteriormente, entre los años 2001 y 2003, se investigó el reactor DHS de tercera generación o tipo filtro percolador. La cuarta generación es el tipo esponjas forradas investigado entre los años 2004 y 2005.

Los últimos dos tipos de reactores DHS investigados fueron el de quinta generación o tipo esponja continua investigado a partir del 2004; y finalmente, el de sexta generación o tipo esponja endurecida investigado a partir del año 2005.

### 3.2.2 RENDIMIENTOS DEL SISTEMA DE POST-TRATAMIENTO DHS

En el siguiente cuadro (Ver Cuadro N° 3.1) se muestran las variables obtenidas para el tratamiento por el sistema DHS, en sus diversas generaciones, de acuerdo a los análisis realizados en la ciudad de Nagaoka, Japón.

**Cuadro N° 3.1: Eficiencia de los Reactores DHS en sus diversas Generaciones de la PTAR Nagaoka – Japón**

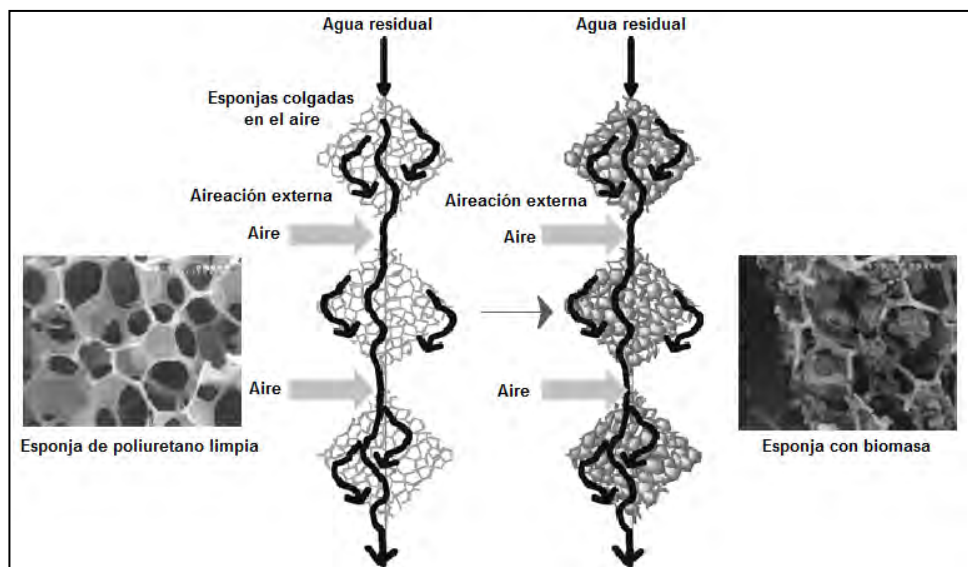
	DHS G1	DHS G2	DHS G3	DHS G4	DHS G5	DHS G6
Tiempo de Retención hidráulico (horas)	2.3	2	2.7	2	2.5	2
Remoción DBO (%)	97	96	98	96	95	96
Remoción DQO (%)	94	84	93	93	90	93
Remoción de sólidos suspendidos (%)	98	68	92	93	95	95
Remoción de coliformes fecales (log 10)	-	2.7	2.6	3.5	4	2.8
Capacidad de la esponja (%)		90-100	-	100-125	90-125	100
Tiempo de retención de sólidos (días)	-	25	38	38	55-57	34

Fuente: Exposición "Indian-Japan International Collaboration for an innovative sewage treatment technology with cost-effective and minimum energy requirement" - Hideki Harada.

### 3.3 ANTECEDENTES

De acuerdo a la bibliografía revisada, el reactor Downflow Hanging Sponge (DHS) ha venido siendo estudiado desde el año 2000 mediante una serie de investigaciones publicadas en los años 2000, 2005, 2007 y 2008.

Según la investigación desarrollada por Machdar et al. (2000) nos describe el uso de un reactor UASB y un reactor DHS tipo cortina. El reactor UASB fue instalado en marzo de 1995 en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales en Nagaoka, Japón. El desempeño del reactor UASB fue de marzo 1995 a junio 1996, impulsó la investigación para que se obtenga una mejor calidad de efluente del reactor UASB, mediante la adición de una unidad de post-tratamiento simple y rentable. En este contexto, el reactor DHS tipo cubos, conocido también como DHS de primera generación fue puesto en marcha como unidad de post-tratamiento en junio de 1996. (Ver Figura N° 3.2).



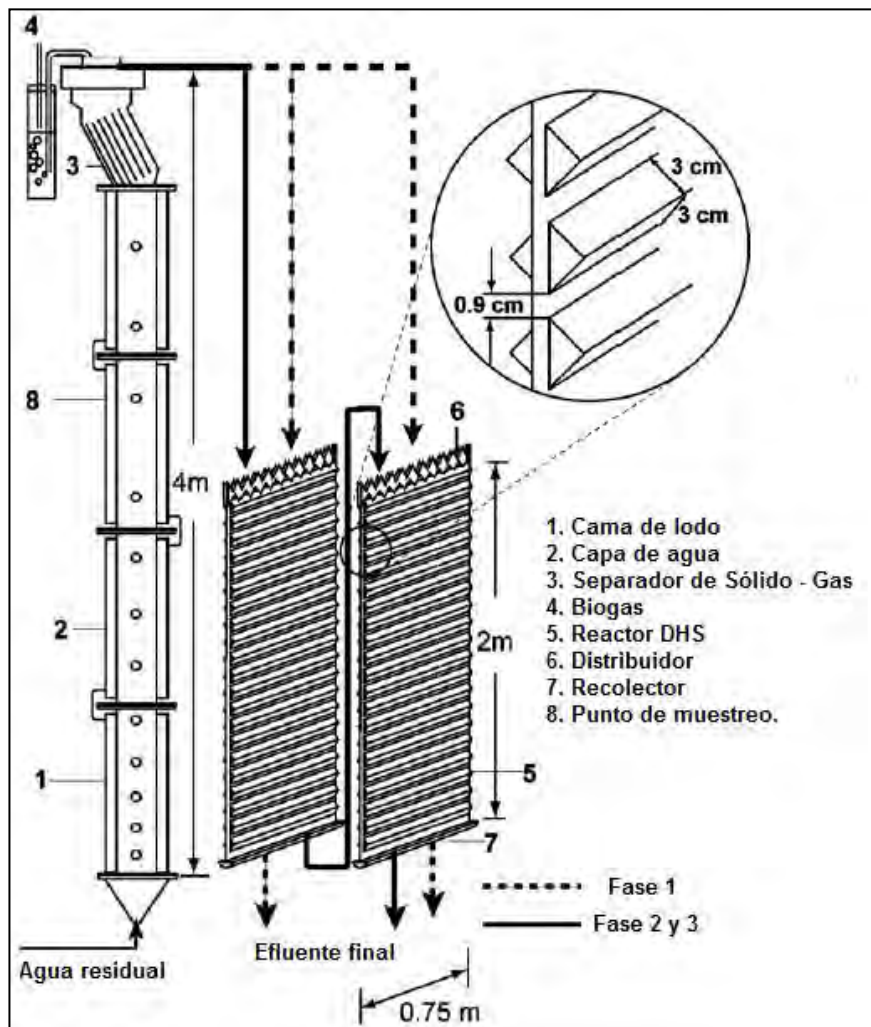
**Figura 3.2: Concepto del Reactor DHS Tipo Cubo**

*Fuente: [Fang; 2010]*

Todo el sistema en combinación (reactor UASB y reactor DHS tipo cubo) dio un excelente rendimiento con respecto a la remoción de carga orgánica y cierto grado de remoción de nitrógeno. Se reportó que se alcanzó más

del 97% de remoción de DBO total en un tiempo de retención hidráulico de 8.3 horas (7 horas en el reactor UASB y 1.3 horas en el reactor DHS).

Sin embargo, desde un punto de vista práctico, el reactor DHS tipo cubo tiene algunos inconvenientes en el área requerida y la distribución uniforme del afluente. Por lo que, para mejorar estos inconvenientes se desarrolló un reactor DHS de segunda generación, llamado también tipo cortina.



**Figura 3.3: Concepto del Reactor DHS Tipo Cortina**

*Fuente: [Tandukar et al., 2006]*

El diagrama esquemático consiste en una unidad de UASB como pre-tratamiento y una unidad DHS tipo cortina como unidad de post-tratamiento. El DHS tipo cortina fue compuesto con esponjas de

poliuretano en forma de primas regidos triangulares colocados en forma horizontal. (Ver Figura N° 3.3).

El agua residual cruda fue suministrada al reactor UASB y el efluente fue trasladado al reactor DHS. El reactor DHS fue operado en dos diferentes formas, la duración experimental fue de 550 días en dos fases.

La primera fase (262 días) que comprendían dos unidades DHS tipo cortina, operadas en paralelo con un tiempo de retención hidráulico de 2 horas por cada unidad. Para la segunda fase (288 días) las dos unidades DHS fueron colocadas en serie, manteniendo un tiempo de retención hidráulico similar, dos horas.

El sistema combinado UASB-DHS estuvo a una temperatura anual promedio de 25° C, temperatura ambiental en la mayoría de países en desarrollo en zonas subtropicales.

El resultado obtenido en el reactor DHS tipo cortina fue un efluente de calidad con una concentración promedio de DBO total de 4 a 10 mg/L (para la primera y segunda fase, respectivamente), y una concentración de DQO-soluble de 1 a 3 mg/L. Todo el sistema combinado (UASB+DHS tipo cortina) exhibió una excelente eficiencia para remover materia orgánica: 94% a 97% de remoción de DBO total, 81% a 84% de remoción de DQO total., en un tiempo total de retención hidráulico de 8 horas (6 horas en el reactor UASB y 2 horas en el reactor DHS).

Por otra parte, Tandukar et al. (2005) presenta una evaluación del rendimiento del proceso de post-tratamiento DHS de "cuarta generación" combinado con una unidad de tratamiento primario UASB que trata aguas residuales municipales a escala piloto. Después de la exitosa operación de los reactores de DHS de segunda y tercera generación, la cuarta generación de reactores DHS fue desarrollado para superar algunas deficiencias de sus predecesores.



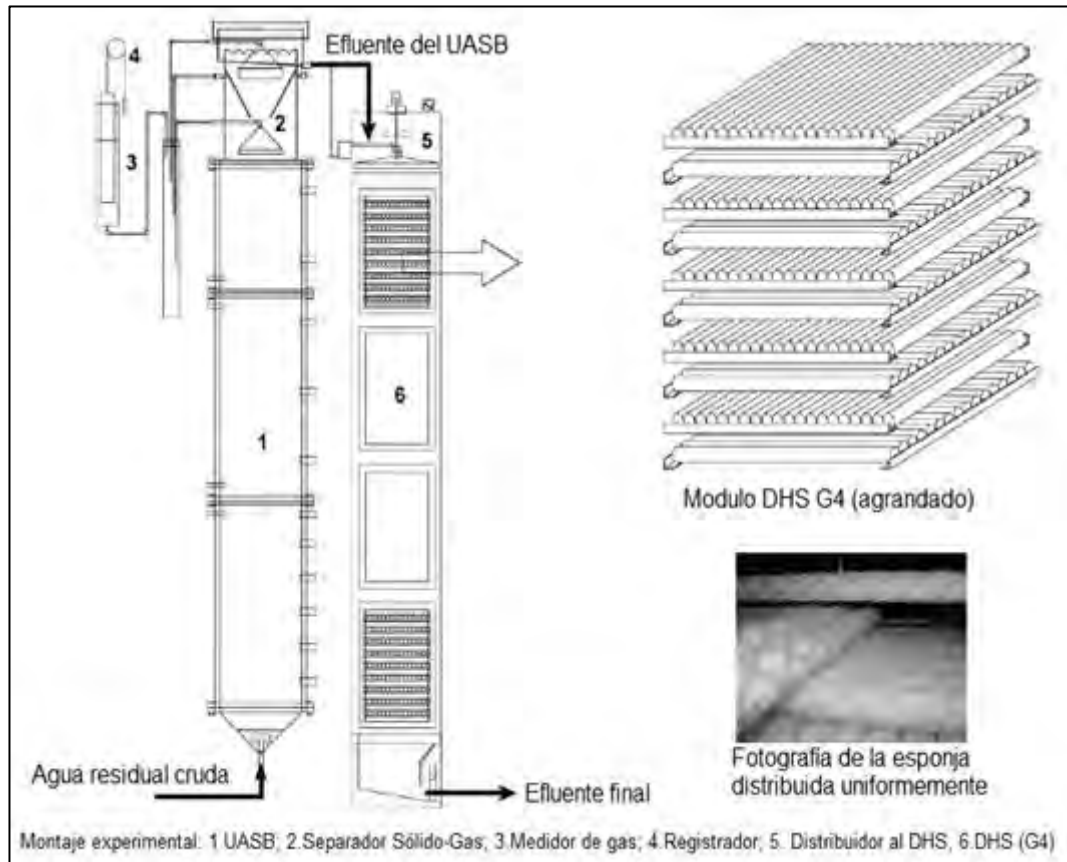
Este reactor fue diseñado para mejorar aún más la eficiencia del tratamiento y simplificar el proceso de construcción en escala real, especialmente para la aplicación en los países en desarrollo.

La configuración del reactor se modificó para mejorar la disolución del aire en las aguas residuales y evitar la posible obstrucción del reactor especialmente durante el lavado del reactor UASB. Todo el sistema fue operado en un total tiempo de retención hidráulica (TRH), de 8 horas (UASB: 6 horas y DHS: 2 horas) por un período de más de 600 días.

El volumen del UASB cilíndrico fue 1,148 L incluyendo GSS (Separador Gas-Sólido). Al igual que el volumen del reactor DHS fue de 375 L, basado en el volumen de la esponja. El reactor DHS fue construido con largas tiras de esponja de dimensión de 2,5 cm 2,5 cm x 50 cm, las cuales fueron colocadas dentro de una cubierta de plástico en forma de red cilíndrica. (Ver Figura N° 3.4).

Asimismo, Tandukar et al. (2005) describen que este ensamblaje fue considerado como una única porción de esponja para el reactor DHS. Quince unidades de esponja fueron dispuestas en una fila, y apiladas una encima de otra, en direcciones de 90° el uno al otro, para hacer 20 filas. Los espacios entre filas consecutivas se mantuvieron entre 0.7-1.0cm. Siendo considerado como un único módulo con 300 unidades de esponja y un 39% que ocupa la esponja por volumen.

Cuatro de estos módulos fueron puestos uno encima del otro con un cierto vacío en el medio para la construcción de todo el reactor, dando una altura de 4 metros. Un distribuidor de aguas residuales de tipo rotatorio fue creado en la parte superior para asegurar una distribución uniforme. El reactor UASB fue alimentado con aguas residuales crudas mediante una bomba peristáltica Master-Flex. El efluente del UASB era entonces alimentado directamente al reactor DHS sin ningún tratamiento previo, fluyendo por gravedad.



**Figura 3.4: Diagrama Esquemático del Reactor DHS de Cuarta Generación a Escala Piloto**

*Fuente: [Tandukar et al.; 2005]*

Se midieron parámetros in situ como el oxígeno disuelto, el pH, y la temperatura. Además se analizaron parámetros, como la DBO filtrada y sin filtrar, DQO; nitrógeno total, nitrógeno de amonio, nitratos y nitritos. Y se determinaron coliformes fecales y totales como organismos bio-indicadores. Todos los procedimientos analíticos se llevaron a cabo de acuerdo a APHA (American Public Health Association, 1998).

De acuerdo Tandukar et al. (2005) a en la etapa final, todo el sistema estuvo siendo operado en un tiempo de retención hidráulico de 8 horas (UASB: 6h y DHS: 2 horas). El estado estable para el UASB se logró en un mes. Sin embargo, el objetivo del tiempo de retención hidráulico de 6 horas es alcanzado después de 3 meses.

Por otro lado, el DHS se inicia con una esponja limpia saturada con agua, sin el uso inoculación. El período de inicio para el DHS fue inferior a 2 semanas, lo que es más corto que cualquier otro sistema comparable.

La DBO no filtrada y DQO no filtrada de aguas residuales utilizados en el periodo experimental fueron de 240 mg/L y 532 mg/L en promedio, respectivamente, los cuales fluctuaron fuertemente. Del mismo modo, la concentración de sólidos suspendidos (SS) fue de 262 mg/L en promedio.

La eliminación de materia orgánica en el UASB fue del 67% en términos de DBO no filtrada y un 63% en términos de DQO filtrada. La eliminación de los Sólidos Suspendidos por UASB fue del 75%. Sin embargo, el desempeño de UASB fluctuó con el cambio en la calidad de las aguas residuales del afluente. La remoción orgánica fue casi completa después de la unidad de post-tratamiento del DHS. La eficiencia en remoción de DBO y DQO sin filtrar alcanzó el 96% y 91%, respectivamente (por el sistema en su conjunto), produciendo una excelente calidad del efluente con 9 mg DBO/l y 46 mg DQO/l.

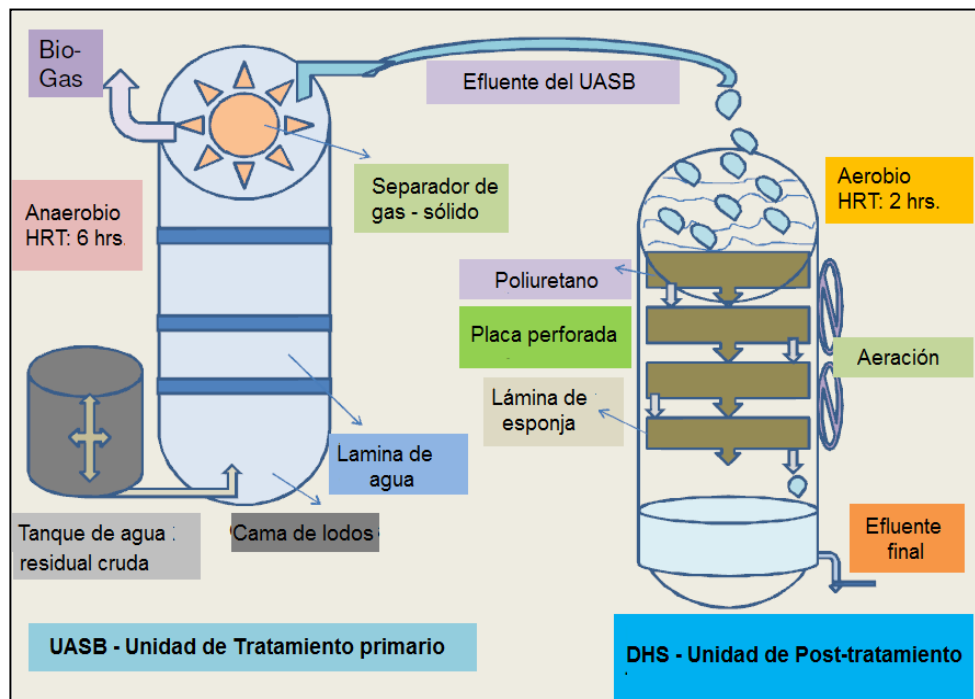
Los sólidos suspendidos en el efluente final fue 17mg / L, lo que representó la eliminación del 93% por el conjunto del sistema. Independientemente de las características del afluente, el rendimiento del DHS fue siempre más estable en comparación con el rendimiento del UASB.

La remoción de especies de nitrógeno se llevó a cabo en gran parte en el DHS. La nitrificación en el DHS se llevó a cabo en la parte inferior del reactor, donde la carga orgánica es relativamente baja y se observa el dominio de los heterótrofos sobre los autótrofos. La nitrificación en el DHS se vio favorecida por la gran cantidad de biomasa retenida y el largo tiempo de retención de lodos, lo cual es favorable para el crecimiento de nitrificantes. La nitrificación se lleva a cabo en la zona aerobia de la esponja, (hasta una profundidad de 0.75cm desde la superficie). La desnitrificación tiene lugar en la zona interior anoxia de la esponja. La

nitrificación que se observó en el reactor DHS fue durante el período de inicio con remoción de  $\text{NH}_4\text{-N}$  de más del 56%. La remoción de N-total fue del 31%. Por lo tanto, el DHS es un único reactor que da paso a la nitrificación y a la desnitrificación simultáneamente. Este es un fenómeno único, ya que no se presenta en otros sistemas, como en los filtros percoladores.

Además, el sistema propuesto, fue capaz de reducir el número de coliformes fecales de 3 a 4 órdenes dentro muy corto tiempo de retención hidráulico de 2 horas.

Por otra parte, de acuerdo a los descrito por Bhardwaj et al. (2007), la descarga de productos químicos de diversas industrias produce efectos peligrosos en humanos, animales y en el equilibrio medioambiental. En la ciudad de Karnal, se hicieron análisis de los efluentes de aguas residuales de la ciudad de Karnal que son vertidas en el río Yamuna, un importante afluente del río Ganges, en la región del este de Haryana (India).



**Figura 3.5: Esquema del Sistema UASB-DHS**

Fuente: [Bhardwaj et al.; 2007]

El tratamiento anaerobio de aguas en la India es dirigido hacia la eliminación de contaminantes orgánicas en aguas residuales, suspensiones y lodos. La sustitución completa de la tecnología aerobia por anaerobia aun no es posible debido a la calidad de los efluentes de los sistemas anaerobios. Hay diferentes tipos de digestores disponibles, algunos han demostrado su eficacia con el tiempo, y otros aún están siendo evaluados. Uno de los digestores más adecuado para las condiciones tropicales es el reactor UASB.

H. Harada, investigador de la Universidad Tecnología de Nagaoka de Japón, propuso un tratamiento de aguas residuales auto-sostenible (Ver Figura N° 3.5) que consiste en la combinación de un sistema UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) como una unidad de pre-tratamiento y el reactor DHS (Downflow Hanging Sponge) como una unidad de post-tratamiento.



**Figura 3.6: Reactor DHS en construcción en la Karnal, India – 2001**

*Fuente: Exposición "Indian-Japan International Collaboration for an innovative sewage treatment technology with cost-effective and minimum energy requirement" - Hideki Harada.*

La propuesta de H. Harada fue un sistema anaerobio-aerobio, de UASB y DHS, que cumpla con la necesidad de un sistema de tratamiento simplificado para los países en desarrollo debido a su bajo costo y

simplicidad operacional, junto con la sostenibilidad del sistema en su conjunto. Los resultados obtenidos mostraron una enorme disminución del 97% en la DBO y del 94% en la DQO. (Ver Figura N° 3.6 y N° 3.7).

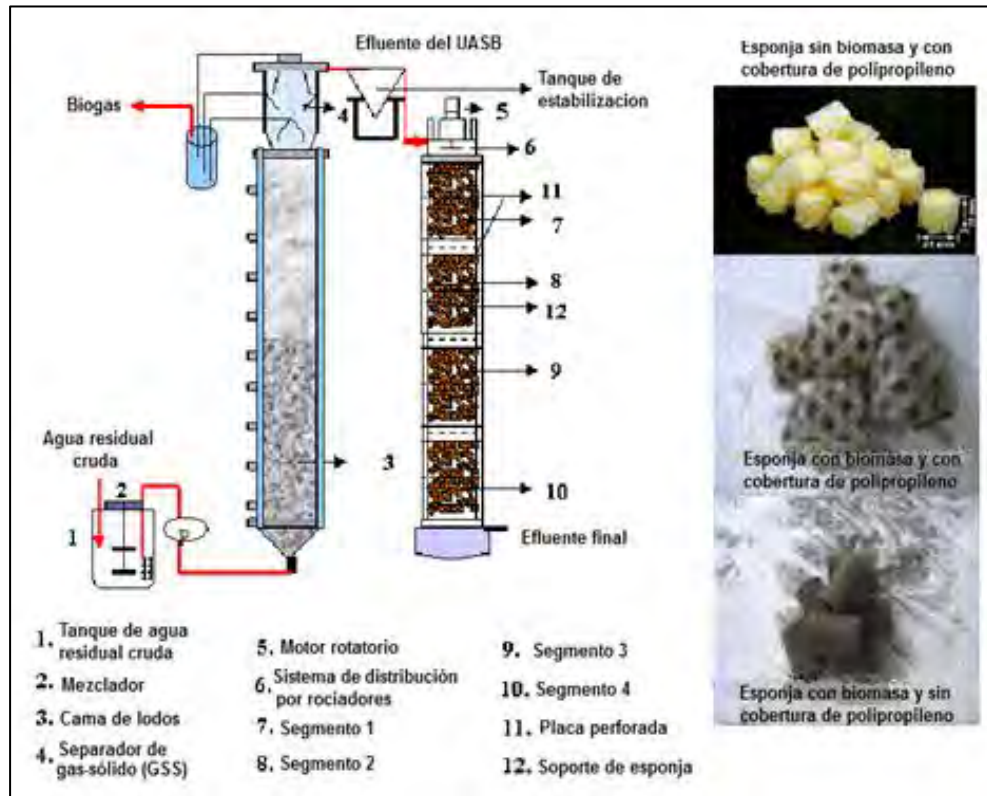


**Figura 3.7: Reactor DHS concluido en la Karnal, India – 2001**

*Fuente: Exposición "Indian-Japan International Collaboration for an innovative sewage treatment technology with cost-effective and minimum energy requirement" - Hideki Harada.*

Luego, de acuerdo a lo descrito por Tawfik et al. (2008) el reactor DHS es una tecnología prometedora, desarrollada recientemente, es la combinación de un sistema anaerobio de Manto de lodos con flujo ascendente (UASB) y un sistema Downflow Hanging Sponge (DHS) para el tratamiento de aguas residuales domesticas para países en desarrollo.

Para ello, utilizó un sistema combinado que fue operado por 325 días a una temperatura de 25 °C para examinar rendimiento del sistema en términos de DQO, DBO5, SST, y amoníaco. En la figura se muestra un diagrama esquemático del sistema DHS. (Ver Figura N° 3.8) El sistema DHS se hizo de metacrilato, con una capacidad de 136 litros, y tenía un diámetro interior de 0.22 m. La altura del reactor fue de 3.50 m. El módulo de DHS fue ocupado con un volumen de esponja 51.6 litros, que representa el 38% del volumen del reactor.



**Figura 3.8: Diagrama Esquemático de un Sistema Combinado de Tratamiento Aguas Residuales Domésticas (UASB-DHS)**

*Fuente: [Tawfik, A. Ohashi y H. Harada – 2008].*

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración final del efluente en DQO, DBO5, SST y coliformes fecales fueron siempre muy bajos, en cumplimiento de las normas de la mayoría de los países en desarrollo para su reutilización en la agricultura. Los resultados mostraron que después de 16 días, el sistema combinado de UASB / DHS proporciona siempre una eficiencia de remoción promedio de  $83 \pm 8\%$  para la DQO total,  $68 \pm 5\%$  para la DQO soluble,  $82 \pm 21\%$  para la DBO5 total,  $77 \pm 35\%$  para DBO5 soluble,  $91 \pm 6\%$  para los SST y  $72 \pm 12\%$  para el amoníaco.

Ante estos resultados, es recomendable el uso del sistema combinado, que consiste en un reactor UASB y el sistema del DHS, para la remoción de DQO, DBO5, amoníaco y coliformes fecales en un tiempo de retención hidráulica total de 8 horas (6 horas de UASB y 2 horas de DHS) para el tratamiento de aguas residuales.

## **CAPITULO 4**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **4.1 TRATAMIENTO BIOLÓGICO**

Los procesos biológicos se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida y disuelta en el agua residual en sólidos sedimentables floculentos que puedan separarse en tanques de sedimentación. Aunque estos procesos se usen junto con los físicos y químicos empleados en el tratamiento preliminar del agua residual, no deben considerarse como sustitutivos de aquéllos. La sedimentación primaria es muy eficaz para separar los sólidos suspendidos de hasta cierto tamaño, en tanto que los procesos biológicos son muy eficaces en la separación de sustancias orgánicas que sean solubles o estén dentro del tamaño coloidal.

Las características, de los microorganismos que intervienen en las reacciones biológicas para la degradación de la materia orgánica, son las que permiten establecer una clasificación de los procesos biológicos de las aguas residuales. En función de la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables de las reacciones biológicas, los tratamientos biológicos pueden clasificarse en: procesos aerobios, procesos anaerobios y procesos facultativos. Mientras los procesos aerobios son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno, los anaerobios son aquellos que se dan en ausencia de oxígeno y los facultativos aquellos en los que los organismos responsables pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno molecular.

La mayoría de los procesos biológicos son procesos aerobios, principalmente debido a las ventajas que estos procesos presentan frente a los anaerobios. Sin embargo, los tratamientos anaerobios son también



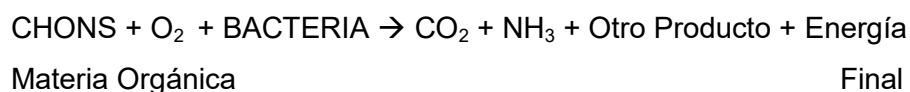
utilizados y juegan un papel importante en la degradación de los lodos generados.

A continuación, una breve descripción de los principales tipos de procesos biológicos.

### **Proceso Aerobio:**

Es un proceso en la cual los microorganismos ejecutan la oxidación utilizando oxígeno molecular como aceptor de hidrógeno (formando de este modo H<sub>2</sub>O). Presenta microorganismos de película fija o adheridos (filtros percoladores y discos biológico rotativos) y de crecimiento suspendido (lodos activados, zanjas de oxidación y lagunas aireadas). La estequiometría del proceso aerobio es la siguiente:

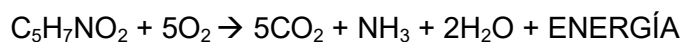
- **Oxidación:**



- **Síntesis:**



- **Respiración Endógena:**



### **Proceso Anaerobio:**

Es un proceso de fermentación bacteriana por medio de la cual la materia orgánica es descompuesta, en ausencia de oxígeno disuelto, para producir una mezcla de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), participando cuatro familias de bacterias básicas: bacterias hidrolíticas, bacterias acetogénicas, bacterias metanogénicas y bacterias homo-acetogénicas; sin embargo, frecuentemente se habla de dos grandes grupos de bacterias.

El primer grupo es de bacterias anaerobias y facultativas que hidrolizan y fermentan los compuestos orgánicos complejos a ácidos simples y se les llama bacterias formadoras de ácidos. El segundo grupo, convierte el producto anterior en gas metano, hidrógeno sulfurado y bióxido de carbono.

## **4.2 TIPOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS**

Los procesos biológicos más utilizados como unidad de post-tratamiento de una unidad anaerobia (reactor UASB) son los filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requisitos específicos de cada tratamiento. Otros procesos biológicos incluyen lagunas aireadas, lagunas facultativas y biodiscos. Todos estos tipos de tratamientos biológicos requieren aireación, es decir, son tratamientos biológicos aerobios.

### **4.2.1 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN**

Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos naturales de interacción de la biomasa (algas, bacterias, protozoarios, etc.) y la materia orgánica contenida en el agua residual. Este tratamiento se aplica cuando la biomasa de las algas y los nutrientes que se descargan con el efluente pueden ser asimilados por el cuerpo receptor. El uso de este tratamiento se recomienda especialmente cuando se requiere un alto grado de remoción de organismos patógenos. [R.N.E., Perú; 2006]

#### **A) LAGUNAS AIREADAS**

Las lagunas aireadas son de profundidades de 1 a 4 m en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza

mediante unidades de aireación, bien sean superficiales, turbinas o difusores. [Ramalho; 1996]. El nivel de turbulencia o grado de mezclado en las lagunas es la base para su clasificación en 2 categorías: lagunas aireadas de mezcla completa y lagunas aireadas facultativas, ambas se describen a continuación:

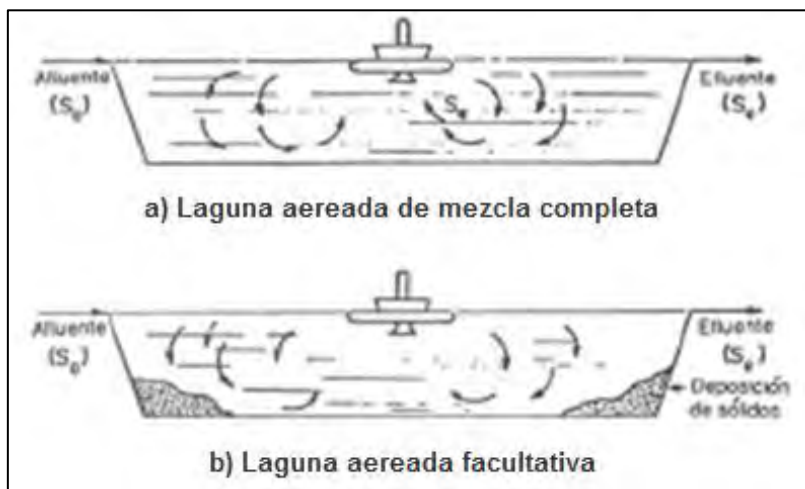
➤ **Lagunas aireadas de mezcla completa:**

El nivel de turbulencia es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. El contenido de este tipo de lagunas está totalmente mezclado y no sedimentan ni los sólidos entrantes ni los biológicos producidos a partir del agua residual. De hecho, la función esencial de este tipo de laguna es la conversión de los residuos. [Ramalho; 1996]. En este tipo de lagunas la profundidad varía entre 3 y 5 m. y el periodo de retención entre 2 y 7 días. Para estas unidades es recomendable el uso de aireadores de baja velocidad de rotación. [R.N.E., Perú; 2006]

➤ **Lagunas aireadas facultativas:**

El nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión, contándose exclusivamente con el necesario para suministrar oxígeno disuelto en todo el volumen de líquido. Parte de los sólidos decantan en el fondo de la laguna donde sufren descomposición anaerobia. La elección de un régimen de mezcla resulta del balance económico entre las necesidades de potencia y el costo del terreno (se necesita más terreno para las lagunas facultativas). [Ramalho; 1996].

En la siguiente figura (Ver Figura N° 4.1) se representan estos dos sistemas de mezcla en las lagunas aireadas.



**Figura 4.1: Regímenes de Mezcla de acuerdo a los Tipos de Lagunas Aireadas**

En este tipo de laguna se presenta acumulación de lodos, observándose frecuentemente la aparición de burbujas de gas de gran tamaño en la superficie por efecto de la digestión de lodos en el fondo. En este tipo de lagunas los periodos de retención varían entre 7 y 20 días (variación promedio entre 10 y 15 días) y las profundidades son por lo menos 1.50 m. En climas cálidos con buena insolación se observa un apreciable crecimiento de algas en la superficie de la laguna. [R.N.E., Perú; 2006]

## **B) LAGUNAS FACULTATIVAS**

Laguna o estanque de tratamiento con una sección superior aerobia y una inferior anaerobia de modo tal que los procesos biológicos aerobios y anaerobios se produzcan en forma simultánea. Su coloración es verdosa debido a que el contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día.

En el estrato superior de una laguna facultativa existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables. En la parte superior se da una fase aerobia y en la inferior, una anaerobia donde se ubican los sedimentos que se va produciendo en la estabilización. El aporte de oxígeno necesario en la estabilización se produce por la acción fotosintética de las algas que conviven en el estanque con las bacterias y microorganismos que degradan la materia orgánica.

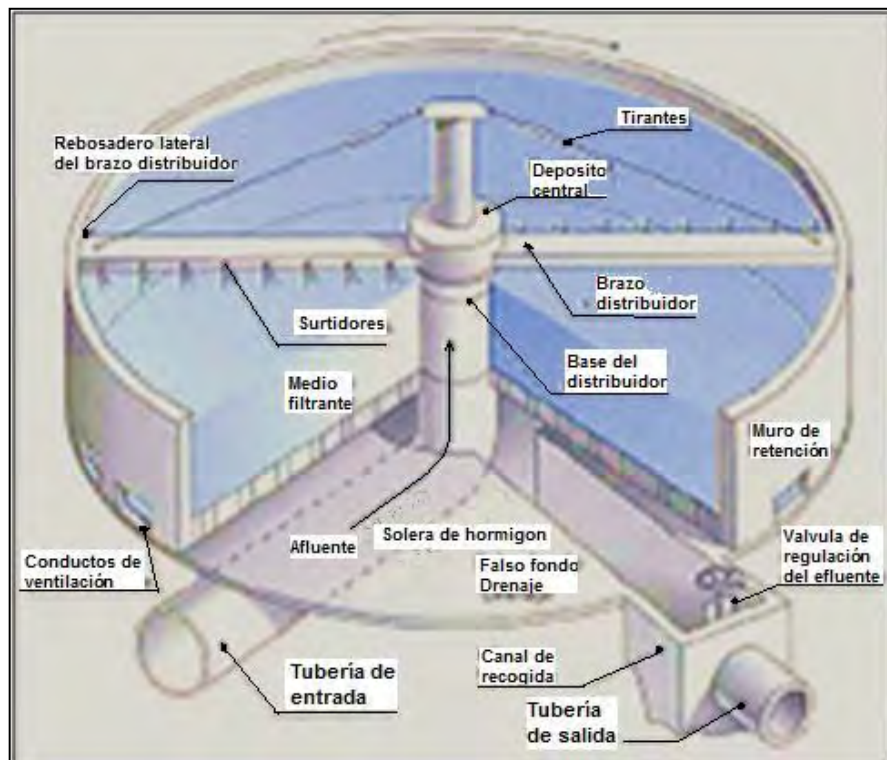
La profundidad oscila de uno a dos metros. Se dan procesos anaerobios y aerobios. Un buen diseño de estas lagunas puede posibilitar un rendimiento igual o mejor que el de las PTAR convencionales. Las lagunas facultativas pueden utilizarse como unidades primarias o secundarias en una serie de lagunas. [[www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp](http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp); última visita 25/05/12]

#### **4.2.2 FILTROS PERCOLADORES**

Todos los reactores biológicos aerobios descritos anteriormente suponen la presencia de un crecimiento biológico que se mantiene en suspensión dentro del reactor. Por esta razón, se denominan reactores de crecimiento biológico en suspensión. Se ha desarrollado otro tipo de reactor en el que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico, que se mantiene fijo en él. Estos reactores también se denominan reactores de crecimiento biológico asistido.

Los filtros percoladores pertenecen a este tipo de reactores de crecimiento asistido. El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual.

Normalmente el agua se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola de forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. En la figura (Ver Figura N° 4.2) se presenta un diagrama de la sección típica de un filtro percolador.



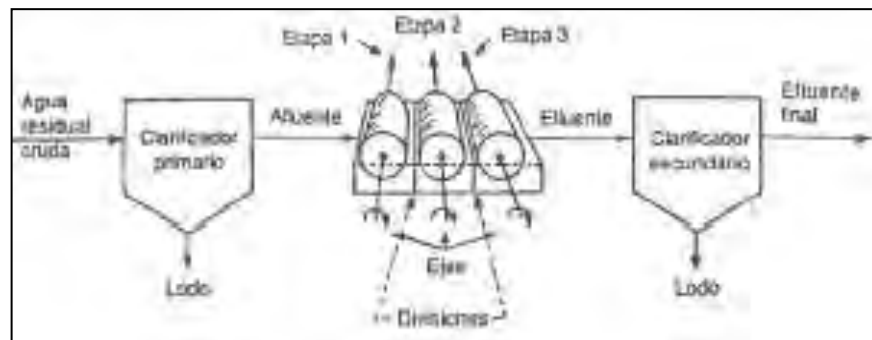
**Figura 4.2: Filtro Percolador**

*Fuente: [Stenco; 2000]*

### 4.2.3 BIODISCOS

Los biodiscos o sistemas biológicos rotativos de contacto (RBC: Rotating Biological Contactors) son sistemas para el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. En el caso de los biodiscos, la biomasa se presenta simultáneamente en forma de crecimiento asistido (como en los filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (como en los lodos activados).

En la figura (Ver Figura N° 4.3) se presenta un diagrama de una unidad típica de tres etapas. Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente fabricados de polietileno o polipropileno con diámetros comprendidos entre 3 y 4 m [Ramalho; 1996].



**Figura 4.3: Esquema de una Unidad de Biodiscos Típica**

*Fuente: [Ramalho; 1996]*

Estos discos se mantienen paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros. Los ejes tienen longitudes de 7,5 m aproximadamente, pudiendo alojar de esta forma un gran número de discos.

Las unidades se disponen en tanques divididos por paredes. La alimentación de agua residual pasa a través de estos tanques en serie de forma que los ejes se mantienen ligeramente por encima de la superficie del líquido. Lo que significa que la superficie de los discos está aproximadamente el 40 % sumergida en todo momento.

Los ejes giran continuamente a una velocidad comprendida entre 1 y 2 RPM. Se forma gradualmente un limo biológico de 1 a 3 mm de espesor que comienza a depositarse en las superficies de los discos [Ramalho; 1996].

Debido a que la acción rotativa de los discos provoca cierta turbulencia en el depósito de líquido, existirá en todo momento una concentración limitada de biomasa en suspensión debido a que parte del crecimiento de limo se separa de los discos además del que se pierde por arrastre de la materia sin vida.

En consecuencia, la disminución de la DBO<sub>5</sub> en los biodiscos se presenta simultáneamente mediante un mecanismo similar al del filtro percolador, por la presencia del limo formado junto al disco, así como también mediante un mecanismo análogo al de los lodos activos, por la presencia de la biomasa en suspensión.

Luego, el efluente de la última etapa de los biodiscos fluye a un clarificador secundario, de donde se puede obtener un efluente final. [Ramalho; 1996].

#### 4.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS TIPOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

A continuación, se presenta un cuadro resumen (Ver Cuadro 4.2) con el comparativo entre las tecnologías de tratamiento biológico expuestas en el Capítulo 4, Sección 4.2.

**Cuadro N° 4.1: Cuadro Comparativo de las principales Tecnologías Existentes en el Tratamiento Biológico**

PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EXISTENTES EN EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO						
Tecnología	Requiere energía	Operación	Mantenimiento	Area requerida	Producción de lodo	Generación de olores
Lagunas aireadas	Si	Sofisticada	Sofisticado	Mucha	Mucho	No
Lagunas facultativas	No	Sencilla	Sencillo	Mucha	Poco	No <sup>(*)</sup>
Filtros percoladores	No	Sencilla	Sencillo	Poca	Muy poco	Si
Biodiscos (RBC)	Si (bajo)	Sencilla	Sencillo	Poca	Muy poco	No

*(\*)No generan malos olores si el tratamiento primario es un reactor UASB o una laguna anaerobia Fuente.- Elaboración propia.*



## CAPITULO 5

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 5.1 UBICACIÓN DEL SISTEMA

El sistema Downflow Hanging Sponge (DHS) tipo bloques prismáticos a escala piloto se ubicó en la zona norte de las inmediaciones del Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos CITRAR-UNI. (Ver Fotografía N° 5.1).



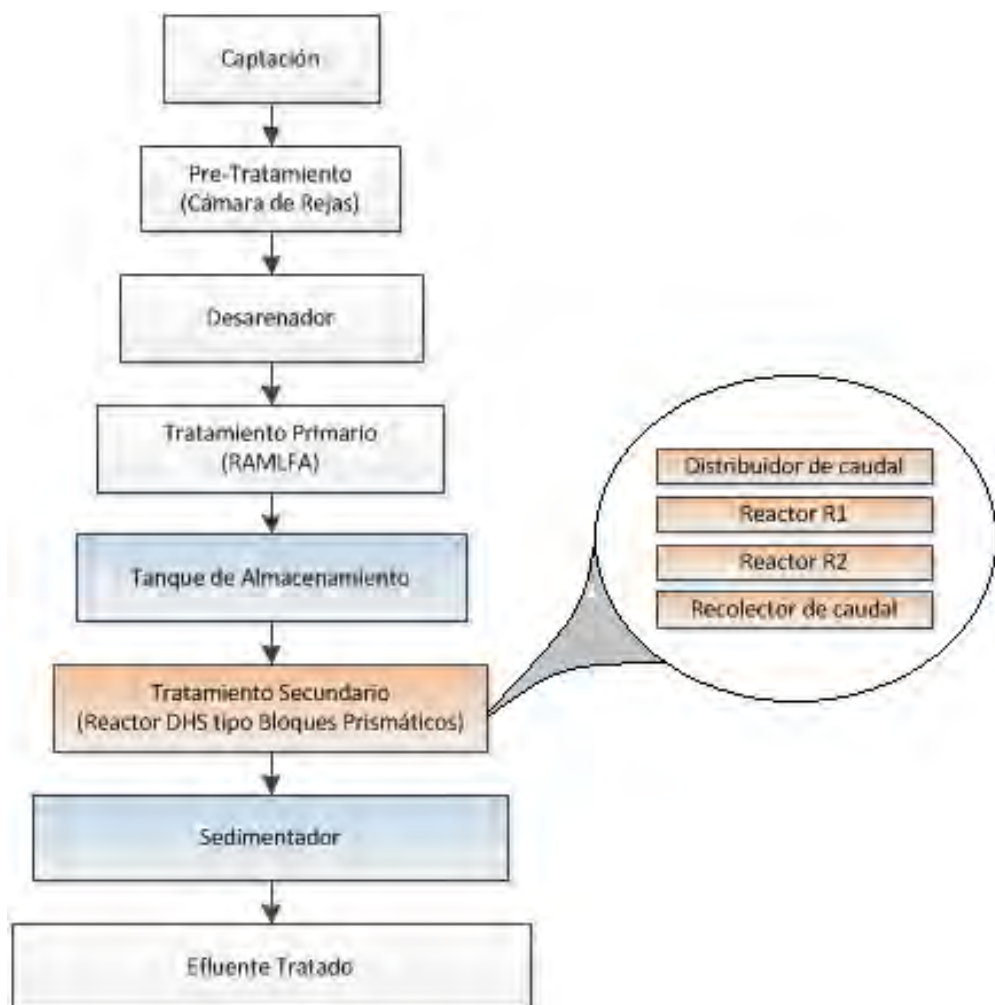
**Fotografía N° 5.1: Ubicación del sistema DHS tipo bloques prismáticos**

#### 5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El sistema DHS tipo bloques prismáticos realizó un tratamiento del tipo secundario al efluente del reactor RAMLFA (o UASB) ubicado en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales del CITRAR-UNI.

Cabe mencionar que en la planta piloto de tratamiento de aguas residuales del CITRAR-UNI, el afluente hace su ingreso mediante la unidad de captación; luego, el agua residual es llevada hacia el sistema de pre-tratamiento, compuesto por una cámara de rejas gruesas y finas. Posteriormente, el agua residual es llevada hacia el desarenador; y luego, hacia la unidad de tratamiento primario, denominada RAMLFA (o UASB).

A partir de este punto, el tratamiento secundario, principal objetivo del presente proyecto de investigación, fue llevado a cabo mediante la construcción del sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto; de donde se obtuvo el efluente tratado. (Ver Figura N° 5.1)



**Figura 5.1: Esquema del Recorrido del Agua Residual en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales del CITRAR-UNI**

El sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto consistió básicamente en un tanque de almacenamiento, un sistema distribuidor del caudal, dos reactores en serie denominados reactor R1 y reactor R2, un sistema recolector de caudal y un sedimentador. (Ver Fotografía N° 5.2).

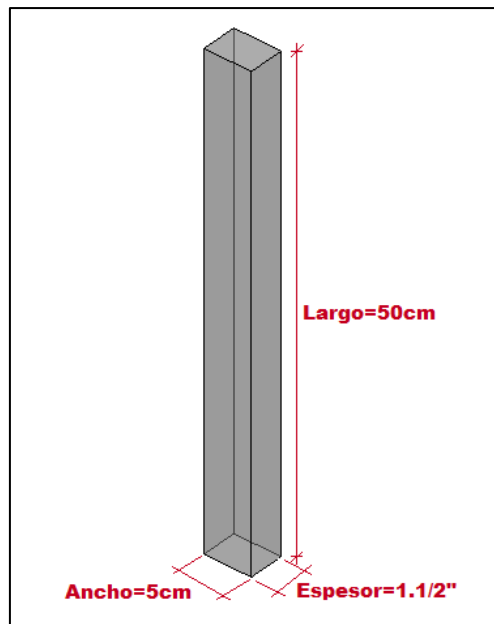


**Fotografía N° 5.2: Vista general del sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto**

El sentido del flujo fue vertical y descendente, y el tratamiento fue del tipo aerobio (el valor del oxígeno disuelto fue de 2.25 mg/L en promedio para el afluente del sistema DHS). Siendo así; un sistema complementario ideal para el reactor de tratamiento primario RAMLFA (o UASB), que posee un sentido de flujo vertical y ascendente, y un tratamiento del tipo anaerobio.

El sistema de almacenamiento consistió en un tanque de plástico de 200L, el cual almacenaba el efluente del reactor UASB de CITRAR-UNI. Luego, el caudal de ingreso era controlado mediante una válvula de paso general de 1/2", seguida de un sistema distribuidor de caudal compuesto por 10 válvulas de plástico de 1/8".

Los reactores en serie denominados R1 y R2 fueron construidos en su totalidad de material acrílico y diseñados para sostener 10 esponjas cada uno. Las dimensiones de las esponjas fueron de 50cm de largo, 5cm de ancho y 1.1/2" de espesor (Ver Figura N° 5.2). Además, se proporcionó un espaciamiento de 6cm entre los reactores R1 y R2; y otro espaciamiento de 2cm entre cada esponja de ambos reactores, con la finalidad de favorecer a la aireación del agua residual. (Ver Figura N° 5.4)



**Figura 5.2: Vista Tridimensional y Dimensiones de una Esponja**

Una vez culminado el paso por los reactores en serie, se implementó un sistema recolector de caudal que consistía en una tubería de PVC de 3" seccionada por la mitad. Finalmente para evitar que el efluente contenga posibles arrastres de biomasa, se adicionó un sedimentador a la salida del sistema recolector de caudal.

### 5.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Los materiales usados se detallan a continuación (Ver Fotografía N° 5.3):

#### ➤ SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL:

- ✓ 01 Tanque cilíndrico de 200 L
- ✓ 2m Tubería de PVC de 1/2"
- ✓ 01 Válvula de paso de PVC de 1/2"
- ✓ 01 Codo de PVC de 90° x 1/ 2"
- ✓ 01 Tee de PVC de 1/2"
- ✓ 02 Tapón hembra de PVC de 1/ 2"
- ✓ 10 Válvulas de plástico de 1/8"
- ✓ 2m Manguera de plástico de 1/8"
- ✓ Pegamento de PVC
- ✓ Cinta de teflón
- ✓ Moldimix
- ✓ Silicona
- ✓ Cinta Gutapercha

#### ➤ SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO:

- ✓ 02 Reactores de acrílico
- ✓ Espuma de Poliuretano de 20 kg/m<sup>3</sup>
- ✓ Hilo de pescar
- ✓ 10 embudos de plástico pequeños
- ✓ Listones de madera
- ✓ Clavos

#### ➤ SISTEMA RECOLECTOR DE CAUDAL:

- ✓ 2m Tubería de PVC de 3"
- ✓ 01 Reducción de PVC de 3" x 2"
- ✓ 01 Reducción de PVC de 2" x 1"

- ✓ 01 Tapón hembra de PVC de 1"
- ✓ 1m Manguera de plástico de 1/8"
- ✓ Moldimix
- ✓ Silicona

➤ **SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN Y SALIDA:**

- ✓ 01 Envase rectangular de plástico con tapa
- ✓ 01 Balde de plástico de 4 L
- ✓ 02 Válvula de paso de F°G° de 1/4"
- ✓ 25m Manguera de plástico de 1/4"
- ✓ Moldimix
- ✓ Silicona

## 5.4 DISEÑO DEL SISTEMA

Para el dimensionamiento del Sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto se tuvieron en cuenta varias consideraciones, como la selección del material filtrante, la porosidad del material escogido, el caudal de diseño, el volumen de material filtrante y la distribución del mismo.

### 5.4.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE

La selección del material filtrante fue realizada en base a las recomendaciones de investigaciones anteriores; en donde se señala a la esponja de poliuretano<sup>(1)</sup> como un material apropiado para la conservación de la biomasa, para una buena aireación del flujo, de alta resistencia y sobretodo de fácil manejabilidad.

---




(1) *Poliuretano: Normalmente su formulación se basa en la combinación de dioles (HO-R-OH) de baja o media masa molecular (1000-2000g/mol) combinados con diisocianatos (NCO-R'-NCO). Los dioles proporcionan un carácter elástico, flexible y tenaz al poliuretano; por lo cual sus segmentos en la estructura molecular se denominan "segmentos flexibles".*



**Fotografía N° 5.3: Materiales utilizados en la construcción del sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto**

En el mercado nacional existen varias marcas y varios tipos de esponjas clasificadas de acuerdo a su densidad. Es importante mencionar que a mayor número de densidad, mejor calidad y mayor vida útil de la esponja; por el que el precio de ésta, también se incrementa con el número de densidad. (Ver Cuadro N° 5.1).

**Cuadro N° 5.1: Tipos de Esponjas en Marca Zebra**

Tipo	Densidad	Color	Precio (*)	Gráfico
<b>Zebra 300</b>	18 kg/m <sup>3</sup>	Amarillo - Lila	S/.16.50	
<b>Zebra 400</b>	20 kg/m <sup>3</sup>	Celeste - Lila	S/.18.30	
<b>Zebra 500</b>	23 kg/m <sup>3</sup>	Oro - Lila	S/.19.50	
<b>Zebra 560</b>	25 kg/m <sup>3</sup>	Amarillo - Amarillo claro	S/.23.00	

(\*) El precio corresponde a una plancha de 2m x 1m x 3/4"

Sin embargo; para el presente proyecto de investigación, la densidad de la esponja no es un factor tan relevante como lo es la porosidad de la misma. Por lo que se evaluó la porosidad de estos 04 tipos de esponjas de poliuretano de la marca Zebra y se seleccionó al tipo de esponja que presentó las mejores características en cuanto a este parámetro.

#### 5.4.2 POROSIDAD

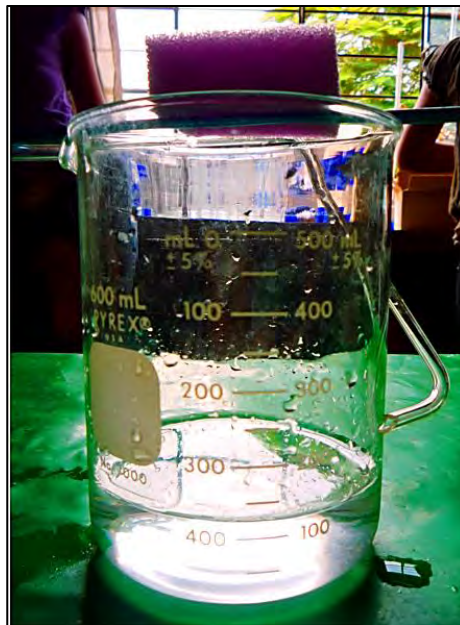
La porosidad fue calculada como el porcentaje que representan los espacios vacíos de la esponja sobre el volumen total de la misma.



$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{\text{Volumen de espacios vacíos en la esponja}}{\text{Volumen total de la esponja}}$$

Para calcular el volumen de espacios vacíos en la esponja, se saturó a la misma mediante chorros de agua en caída libre.

Luego, el volumen de agua que saturó a la esponja fue calculado por diferencia y expresado en mililitros. (Ver Fotografía N° 5.4).



**Fotografía N° 5.4: Evaluación de la Porosidad**

Finalmente; el volumen total de la esponja fue calculado en centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ) y utilizando las tres dimensiones de la misma; largo, ancho y espesor, expresado en centímetros (cm).

$$\text{Vol. esponja (cm}^3\text{)} = \text{Largo(cm)} \times \text{Ancho(cm)} \times \text{Espesor(cm)}$$

$$\text{Vol. esponja (cm}^3\text{)} = 10\text{cm} \times 4\text{cm} \times (0.75 \times 2.54)\text{cm}$$

$$\text{Vol. esponja (cm}^3\text{)} = 76.20 \text{ cm}^3$$

Obteniendo luego los siguientes resultados: (Ver Cuadro N° 5.2).

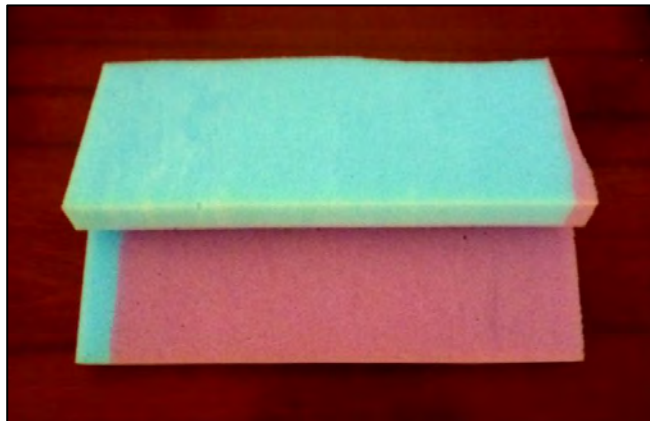
**Cuadro N° 5.2: Porosidad de los diferentes Tipos de Esponjas en Marca Zebra**

Tipo	Dimensiones			Volumen de Esponja (cm <sup>3</sup> )	Volumen de Agua (ml)	Porosidad (%)
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (pulg)			
<b>Zebra 300</b>	10.0	4.0	3/4"	76.20	30.0	39.37%
<b>Zebra 400</b>	10.0	4.0	3/4"	76.20	36.0	47.24%
<b>Zebra 500</b>	10.0	4.0	3/4"	76.20	26.0	34.12%
<b>Zebra 560</b>	10.0	4.0	3/4"	76.20	32.0	41.99%

De donde concluimos que la esponja *Zebra 400* posee la mayor porosidad de las esponjas evaluadas.

$$\text{Porosidad}_{\text{Zebra 400}} = 47.24\%$$

Siendo así, la esponja *Zebra 400*, la escogida como material filtrante para el presente proyecto de investigación. (Ver Fotografía N° 5.5).



**Fotografía N° 5.5: Esponja de Poliuretano Tipo Zebra 400**

### 5.4.3 CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño seleccionado para el presente proyecto de investigación fue de 1ml/seg debido a la escala piloto en que se desarrolló el reactor.

Del mismo modo se estableció que el tiempo de retención hidráulico (THR) en el sistema de tratamiento secundario formado por R1 y R2 debería de ser de 75 min (1.25 horas).

$$Q \text{ diseño} = 1 \text{ ml/seg} \quad ; \quad THR = 1.25 \text{ horas}$$

### 5.4.4 VOLUMEN DEL MATERIAL FILTRANTE

Para calcular el volumen de material filtrante fue necesario calcular primero el volumen de agua o la cantidad de flujo que se requeriría para mantener el caudal de diseño en el tiempo de retención hidráulico. Veamos:

$$\text{Volumen (ml)} = Q \text{ diseño} \times THR$$

$$\text{Volumen (ml)} = \frac{1 \text{ ml}}{\text{seg}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times 75 \text{ min}$$

$$\text{Volumen (ml)} = 4500 \text{ ml}$$

Luego, fue necesario utilizar la porosidad del material filtrante seleccionado. Veamos:

$$\text{Volumen Esponja (cm}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen (ml)}}{\text{Porosidad (\%)}}$$

$$\text{Volumen Esponja (cm}^3\text{)} = \frac{4500 \text{ ml}}{47.24 \%}$$

$$\text{Volumen Esponja (cm}^3\text{)} = 9525 \text{ cm}^3$$

Sin embargo, éste volumen de esponja correspondería a un valor teórico; ya que de experiencias pasadas se conoce que un reactor tipo DHS no trabaja con el 100% del volumen de sus esponjas mojadas. Es decir, que no todo el material filtrante es aprovechado.

En este caso, plantearemos que el porcentaje de esponja mojada del reactor sólo será de un 50%. Con esta medida, se asegurará un comportamiento más real del reactor. Veamos:

$$\text{Volumen Esponja Real (cm}^3\text{)} = \frac{\text{Volumen Esponja (cm}^3\text{)}}{50\%}$$

$$\text{Volumen Esponja Real (cm}^3\text{)} = \frac{9525\text{cm}^3}{50\%}$$

$$\text{Volumen Esponja Real (cm}^3\text{)} = 19050\text{cm}^3$$

Siendo necesario un volumen de material filtrante de 19,050cm<sup>3</sup> para mantener el caudal de diseño y el tiempo de retención hidráulico señalados anteriormente.

$$\text{Volumen Esponja Real} = 19,050\text{cm}^3$$

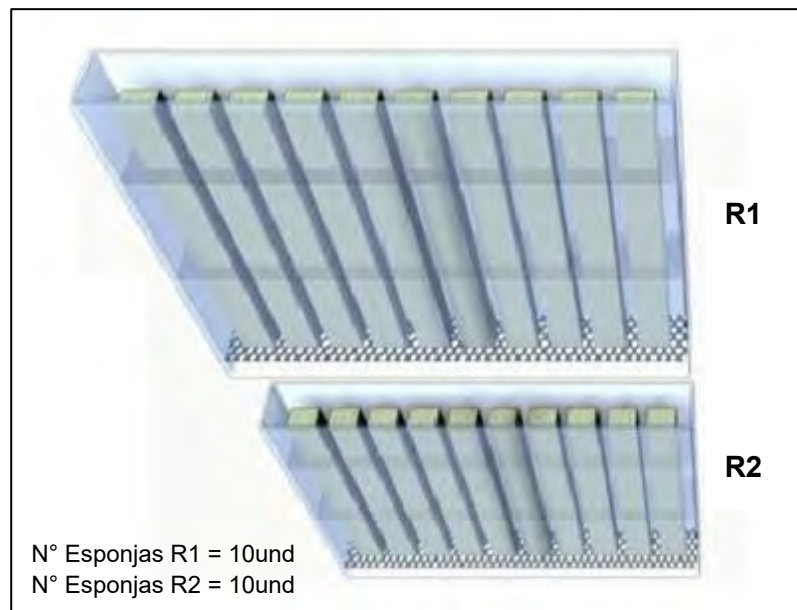
#### 5.4.5 DISTRIBUCIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE

Una vez calculado el volumen de material filtrante a necesitar, se procedió a distribuir de manera equitativa el volumen de esponja con la finalidad de obtener un sistema que permita la aireación del flujo y al mismo tiempo que permita un recorrido considerable de las aguas residuales dentro del reactor.

En ese sentido se estableció dividir el material filtrante en 02 partes e implementar un sistema de reactores en serie (R1 y R2).

(Ver Figura N° 5.3). Luego, bajo esas consideraciones se estableció una distribución de 20 esponjas (10 en cada reactor) con las siguientes dimensiones:

$$\text{Largo} = 50\text{cm.} \quad ; \quad \text{Ancho} = 5\text{cm.} \quad ; \quad \text{Espesor} = 1.1/2''$$



**Figura 5.3: Vista Tridimensional de R1 y R2**

Comprobando el volumen total de material filtrante tenemos:

$$\text{Volumen Esponja (cm}^3\text{)} = 20 \times 50\text{cm} \times 5\text{cm} \times 1.5\text{pulg} \times \frac{2.54\text{cm}}{1\text{pulg}}$$

$$\text{Volumen Esponja (cm}^3\text{)} = 19,050\text{cm}^3$$

#### 5.4.6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES

Una vez conocido el caudal de diseño, el tiempo de retención hidráulico y el volumen de material filtrante; procedemos a dimensionar el sistema de almacenamiento y distribución de caudal, el sistema de tratamiento secundario, el sistema recolector de caudal y el sistema de sedimentación y salida.

➤ **SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL:**

El sistema de almacenamiento consistió en un tanque cilíndrico de 200 L. Este tanque abastecía al sistema aproximadamente por 1.5 días y era llenado mediante bombeo de la salida del reactor UASB de CITRAR-UNI. El bombeo se realizaba de manera inter-diaria.

El sistema de distribución de caudal era controlado mediante una válvula general de paso de PVC de 1/2", seguido por una tubería de PVC de 1/2" con salida para 10 válvulas de plástico de 1/8". Estas válvulas de plástico, a su vez, estuvieron conectadas a mangueras de plástico que facilitaban la correcta caída del caudal hacia el material filtrante del reactor R1. (Ver Fotografía N° 5.6).



**Fotografía N° 5.6: Sistema de Almacenamiento y Distribución de Caudal**

➤ **SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO:**

El sistema de tratamiento secundario estuvo conformado por dos reactores de acrílico en serie, denominados R1 y R2. Los reactores fueron dimensionados para contener cada uno 10 esponjas de 50cm de largo, 5cm de ancho y 1.1/2" de espesor.

Además se estableció que cada reactor debía proporcionar un espaciamiento horizontal de 2cm entre cada esponja y otro espaciamiento vertical de 15 cm entre las esponjas de R1 y R2 para favorecer así, la aireación del flujo.

Por otro lado, se consideraron 2 soportes de acrílico dentro de cada reactor con la finalidad de evitar el pandeo de las esponjas. Los soportes fueron instalados a 10cm y 20cm de distancia, tal como se observa en la figura. (Ver figura N° 5.4)

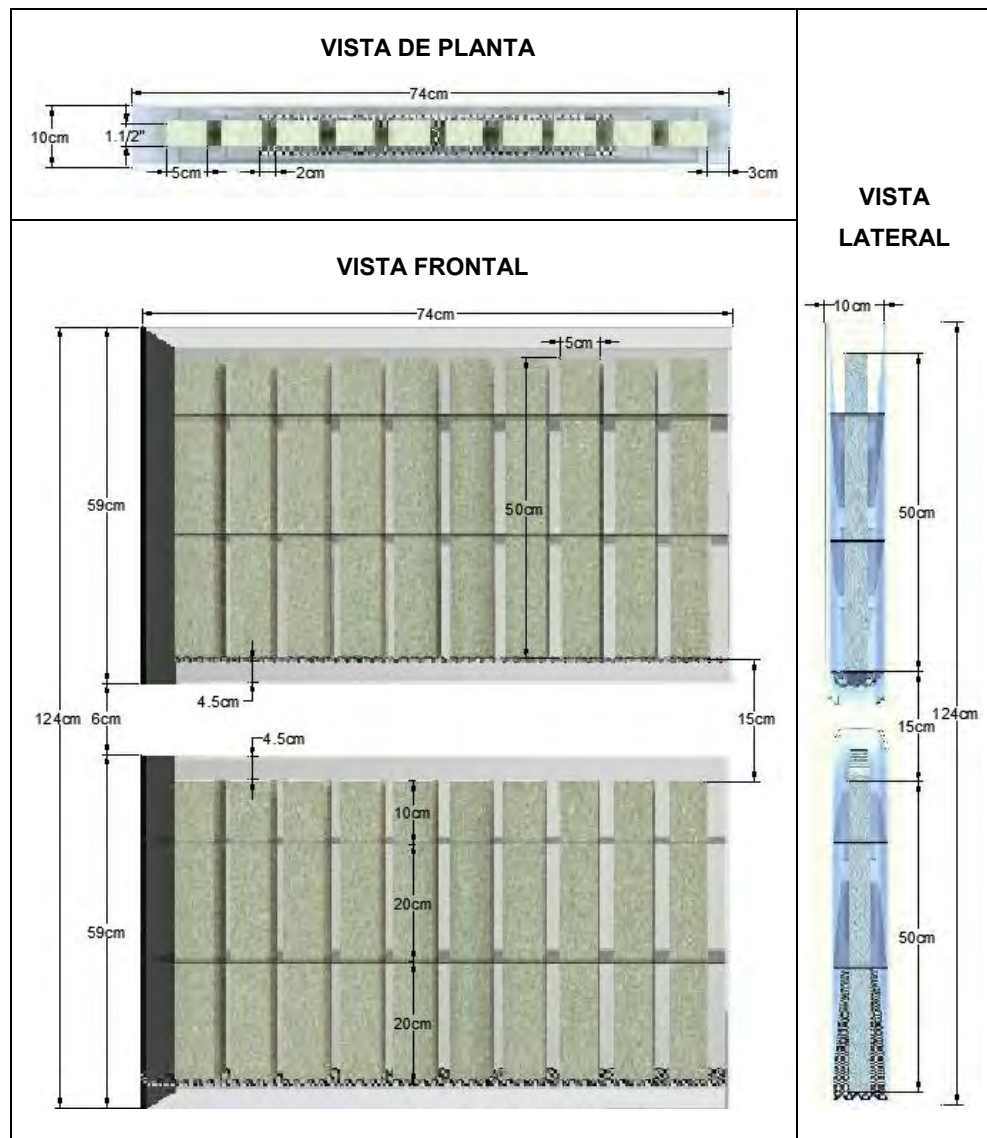


Figura 5.4: Vista de Planta, Frontal y Lateral de R1 y R2

Por último, con la finalidad de establecer un soporte para el material filtrante, se hicieron unos pequeños agujeros en la parte inferior del material acrílico de cada reactor y se colocaron hilos de pescar de manera cruzada. (Ver Fotografía N° 5.7).



**Fotografía N° 5.7: Soporte del Reactor con Hilo de Pescar**

➤ **SISTEMA RECOLECTOR DE CAUDAL:**

El sistema recolector de caudal se instaló en la parte inferior del Reactor R2 y consistió básicamente en una tubería de 3" de diámetro y 80cm de longitud seccionada por la mitad. Además, se instalaron una reducción de PVC de 3"x2", una reducción de PVC de 2"x1" y un tapón hembra de PVC de 1". Sin embargo, estos accesorios finales no tuvieron mayor funcionalidad para el sistema recolector. (Ver Fotografía N° 5.8).



**Fotografía N° 5.8: Sistema Recolector de Caudal**



➤ **SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN Y SALIDA:**

El sistema de sedimentación consistió en un envase rectangular de plástico con tapa, sus dimensiones fueron de 31cm de largo, 21.5cm de ancho y 10cm de altura. (Ver Fotografía N° 5.9).

Luego, se implementaron 20cm manguera de 1/8" para conectar el sistema recolector de caudal con el sedimentador y finalmente, unos 25m de manguera de 1/4" para llevar el efluente final del reactor hacia la caja de registro más cercana.



**Fotografía N° 5.9: Sistema de Sedimentación y Salida**

El ingreso al sedimentador estuvo a una altura de 7.5cm y la salida a una altura de 5.5cm. Con estas dimensiones fue posible calcular el tiempo de retención hidráulico que nos proporciona el sedimentador. Veamos:

$$TR \text{ Sedimentador (min)} = \frac{\text{Volumen agua (ml)}}{Q_{\text{diseño (ml/min)}}$$

$$TR \text{ Sedimentador (min)} = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Hagua (ml)}}{Q_{\text{diseño (ml/min)}}$$

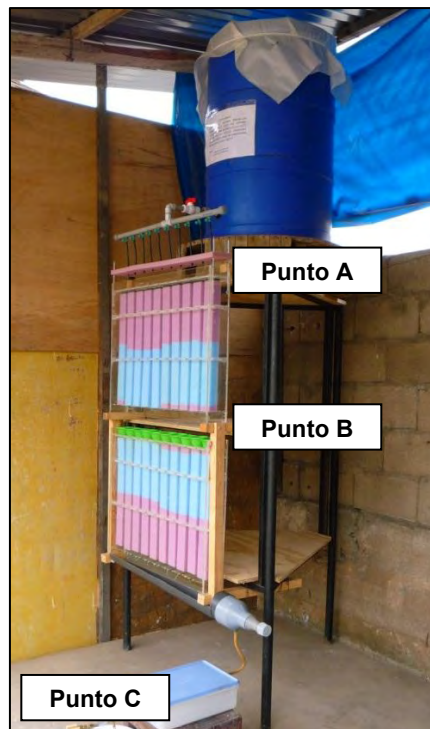
$$TR \text{ Sedimentador (min)} = \frac{31 \times 21.5 \times 5.5 \text{ (ml)}}{1 \frac{\text{ml}}{\text{seg}} \times \frac{60\text{seg}}{1\text{min}}} = 61 \text{ min}$$

Siendo así, el tiempo de retención hidráulico del sistema de sedimentación de 1.02 horas.

$$TR \text{ Sedimentador} = 1.02 \text{ horas}$$

## 5.5 DETERMINACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

En el presente proyecto de investigación se tuvieron en cuenta varios parámetros fisicoquímicos y biológicos para el monitoreo de la eficiencia del sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto. Se establecieron tres puntos de muestreo para la realización de los análisis denominados de la siguiente forma: Punto A, B y C. (Ver Fotografía N° 5.10).



**Fotografía N° 5.10: Puntos de muestreo del Sistema DHS**

Donde:

Punto A = Punto de ingreso al reactor R1

Punto B = Punto de ingreso al reactor R2

Punto C = Punto de salida del sedimentador

## 5.6 PARAMETROS DE MEDICIÓN Y CONTROL

### 5.6.1 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros fisicoquímicos considerados en el presente proyecto de investigación fueron los siguientes:

- ✓ Temperatura ambiental
- ✓ Temperatura en el punto de muestreo
- ✓ pH
- ✓ Turbiedad
- ✓ Sólidos totales
- ✓ Sólidos disueltos totales
- ✓ Sólidos volátiles totales
- ✓ Conductividad
- ✓ Oxígeno Disuelto (OD)
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ )
- ✓ Demanda Química de Oxígeno Total ( $DQO_{Total}$ )
- ✓ Demanda Química de Oxígeno Suspendida ( $DQO_{Suspendida}$ )
- ✓ Demanda Química de Oxígeno Coloidal ( $DQO_{Coloidal}$ )
- ✓ Demanda Química de Oxígeno Soluble ( $DQO_{Soluble}$ )
- ✓ Nitritos ( $NO_2-N$ )
- ✓ Nitratos ( $NO_3-N$ )
- ✓ Alcalinidad ( $HCO_3^-$ )
- ✓ Producción de Lodos

### 5.6.2 PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Los parámetros biológicos considerados en el presente proyecto de investigación fueron los siguientes:

- ✓ Coliformes fecales o termotolerantes
- ✓ Identificación de microorganismos

## **5.7 CRONOGRAMA DE MEDICIÓN Y CONTROL**

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos anteriormente señalados fue realizada mediante monitoreos semanales durante un periodo de 22 semanas. Durante este periodo no fue posible realizar todos los análisis en cada una de las semanas; por lo que a continuación se detalla el programa de los análisis ejecutados. (Ver Cuadro N° 5.3).

Con la finalidad de evaluar el comportamiento del reactor a lo largo del día y de regular el caudal de ingreso al sistema, fueron medidos como parámetros de control, durante tres veces al día, los parámetros fisicoquímicos de temperatura ambiental, temperatura en el punto de muestreo, pH y turbiedad.

A su vez, se aprovecharon estas tres oportunidades durante el día para homogenizar el tanque de almacenamiento y evitar así, la sedimentación del afluente al sistema.

Cuadro N° 5.3: Monitoreos Realizados

N° de Semana	Monitoreos Semanales de Parámetros Físicoquímicos y Biológicos																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>																						
Temperatura Ambiental		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Temperatura en el Punto de Muestreo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
pH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Turbiedad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sólidos		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Conductividad				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Oxígeno Disuelto (OD)			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Demanda Química de Oxígeno (DQO)							x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)												x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)												x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)																						x
Producción de lodos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Parámetros Biológicos</b>																						
Coliformes termotolerantes o fecales						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Identificación de microorganismos			x																	x		x

(x): Se realizó el monitoreo

Semana 01 (30 mayo – 03 junio 2011)

Semana 22 (24 octubre – 28 octubre 2011)

## 5.8 PARÁMETROS EVALUADOS

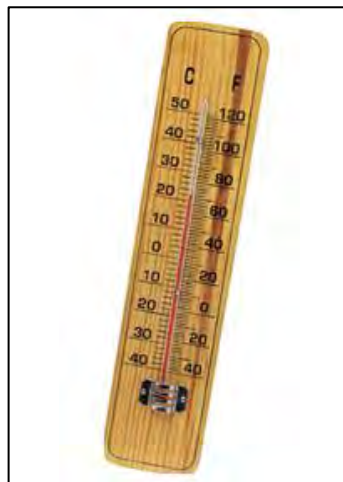
Para la realización de los análisis y monitoreos del presente proyecto de investigación se emplearon diversas metodologías de laboratorio y se utilizaron diferentes reactivos, materiales y equipos de laboratorio. Veamos:

### 5.8.1 TEMPERATURA AMBIENTAL

Para la determinación de la temperatura ambiental se utilizó un termómetro ambiental de pared con bulbo de mercurio. (Ver Fotografía N° 5.11). El cual fue ubicado a sólo 2m de distancia del sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto.

### 5.8.2 TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO Y PH

Para la determinación de la temperatura y el pH del agua residual en los puntos de muestreo se utilizó un medidor de pH con termómetro digital marca ATM. (Ver Fotografía N° 5.12). El cual fue utilizado en campo con la finalidad de obtener mejores resultados y de mayor precisión.



**Fotografía N° 5.11:**  
Termómetro Ambiental



**Fotografía N° 5.12:** Medidor  
de pH y Temperatura

### 5.8.3 TURBIEDAD

Para la determinación de la turbiedad de la muestra se utilizó un colorímetro digital marca Hach DR/890 y 02 celdas de vidrio de 25ml. (Ver Fotografía N° 5.13). El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Llenar una de las celdas de vidrio con 10 ml de agua destilada y la otra con 10 ml de muestra.
- ✓ Limpiar correctamente el exterior de ambas celdas, con la finalidad que no hayan interferencias al usar el equipo.
- ✓ Prender el equipo y seleccionar el programa N°95 Turbiedad (Turbidity: 0-1000 FAU).
- ✓ Colocar la celda de vidrio con agua destilada en el equipo y presionar el botón Zero (Blanco de la medición).
- ✓ Finalmente, colocar la celda de vidrio con muestra en el equipo y presionar el botón Read (Lectura de la turbiedad).

La unidad de medida obtenida para la turbiedad con este equipo es FAU (*Formazin Attenuation Units*); que significa Unidades de Atenuación de Formacina. Siendo 1NTU=1FAU cuando se remonta a los patrones primarios de la formacina.



Fotografía N° 5.13: Colorímetro Hach DR/890

#### 5.8.4 SÓLIDOS TOTALES, SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES Y SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

La determinación de sólidos totales, sólidos disueltos totales y sólidos volátiles totales se llevó a cabo de acuerdo a la metodología estándar de la APHA (American Public Health Association).

Para ello fue necesario utilizar papel filtro Whatman 934-AH, filtros de jeringa, capsulas de porcelana, una plancha eléctrica, un desecador, una pinza, dos hornos eléctricos, una mufla y una balanza digital. (Ver Fotografía N° 5.14, 5.15, 5.16, 5.17). Luego, el procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Acondicionar las capsulas de porcelana en la mufla a 650 °C por 15 min y dejar enfriar en el desecador.
- ✓ Una vez enfriadas, colocar las cápsulas en la balanza digital y tomar nota del peso de cada una de ellas.
- ✓ Filtrar la muestra utilizando el papel filtro Whatman 934-AH, el filtro de jeringa y una jeringa de plástico.
- ✓ Para el cálculo de los sólidos totales, colocar 25ml de muestra sin filtrar en una cápsula previamente acondicionada.
- ✓ Para el cálculo de los sólidos disueltos, colocar 25ml de muestra filtrada en otra cápsula previamente acondicionada.



**Fotografía N° 5.14: Papel Filtro Whatman 934-AH, Filtro de jeringa y Jeringa de plástico**

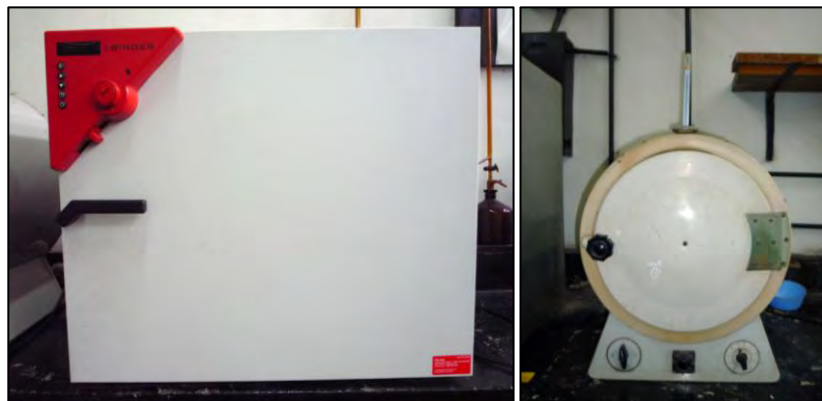


- ✓ Llevar las cápsulas hacia la plancha eléctrica para acelerar el proceso de evaporación.
- ✓ Una vez evaporadas las muestras, colocar las cápsulas en el desecador para su traslado hacia el horno eléctrico.



**Fotografía N° 5.15: Plancha Eléctrica y Desecador**

- ✓ Para el cálculo de los sólidos totales, colocar la primera cápsula en el horno eléctrico a 105 °C durante 30min.
- ✓ Para el cálculo de los sólidos disueltos, colocar la segunda cápsula en el horno eléctrico a 180 °C durante 30min.
- ✓ Luego, retirar las cápsulas de los hornos eléctricos y colocar en el desecador durante 15min para dejar enfriar.
- ✓ Una vez enfriadas, colocar las cápsulas en la balanza digital y tomar nota del peso de cada una de ellas. Luego, con la diferencia de pesos obtenida de la medida inicial, se obtiene la cantidad de sólidos totales y de sólidos disueltos totales de la muestra respectivamente.



**Fotografía N° 5.16: Hornos Eléctricos**

- ✓ Adicionalmente, para el cálculo de los sólidos volátiles totales, se deberá obtener primero la cantidad de sólidos fijos totales y luego hacer una diferencia de los sólidos totales.
- ✓ Para el cálculo de los sólidos fijos totales, colocar la primera cápsula en la mufla a 550 °C durante 20min.
- ✓ Para el cálculo de los sólidos disueltos fijos totales, colocar la segunda cápsula en la mufla a 550 °C durante 20min.



**Fotografía N° 5.17: Mufla y Balanza Digital**

- ✓ Luego, retirar las cápsulas de la mufla y colocar en el desecador durante 20min para dejar enfriar.
- ✓ Una vez enfriadas, colocar las cápsulas en la balanza digital y tomar nota del peso de cada una de ellas. Luego, con la diferencia de pesos obtenida de la medida inicial, se obtiene la cantidad de sólidos fijos totales y de sólidos disueltos fijos totales de la muestra respectivamente.

### **5.8.5 CONDUCTIVIDAD**

Para la determinación de la conductividad de la muestra se utilizó un Conductímetro marca Hanna HI/8733 (Ver Fotografía N° 5.18). Para su utilización fue necesario primero regular la temperatura del equipo de acuerdo a la temperatura de la muestra. Las unidades de medida fueron dadas en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Fotografía N° 5.18: Conductímetro Hanna HI/8733

#### 5.8.6 OXÍGENO DISUELTO

Para la determinación del oxígeno disuelto de la muestra se utilizó un Medidor de Oxígeno marca Hach Senslon 6. Las unidades de medida fueron dadas en mg/L. (Ver Fotografía N° 5.19). Sólo en muy pocas oportunidades fue necesario utilizar el método de Winkler para la determinación del oxígeno disuelto.



Fotografía N° 5.19: Medidor de OD Hach Senslon 6

#### 5.8.7 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) de la muestra se utilizó el método de las diluciones. Para

ello fue necesario agua de dilución, frascos de vidrio con tapón esmerilado, difusores de aire, una incubadora y un medidor de oxígeno disuelto. (Ver Fotografía N° 5.20).



**Fotografía N° 5.20: Frascos de vidrio, Difusor de aire e Incubadora**

Luego el procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Preparar el agua de dilución agregando 1ml de solución de K, Na, Ca y Mg por cada litro de agua destilada.
- ✓ Colocar el difusor de aire en el agua de dilución preparada y esperar a que esta se sature de oxígeno.
- ✓ Medir el oxígeno disuelto de las muestras utilizando el método de Winkler o un medidor de oxígeno disuelto digital.
- ✓ Preparar 06 frascos con diluciones diferentes mediante pipeteo directo para cada muestra.
- ✓ Preparar 01 frasco sólo con agua de dilución (Blanco de la medición).
- ✓ Dejar incubar todos los frascos de las diluciones y el blanco durante cinco días a una temperatura de 20°C.
- ✓ Pasados los cinco días, medir el oxígeno disuelto en cada uno de los frascos utilizando el método de Winkler o un medidor de oxígeno disuelto digital.
- ✓ Finalmente la  $DBO_5$  se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$DBO_5\left(\frac{mg}{L}\right) = (ODb - ODi) \times \frac{Vol\ de\ botella}{ml\ de\ muestra}$$

Donde:

ODb = Oxígeno disuelto del blanco, luego de 05 días.

ODi = Oxígeno disuelto en la dilución de muestra, luego de 05 días.

### 5.8.8 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL

Para la determinación de la demanda química de oxígeno total de la muestra se utilizaron viales para DQO de rango alto y bajo marca Hach y un digestor marca Hach DRB 200 (Ver Fotografía N° 5.21). Además, se empleó un colorímetro digital marca Hach DR/890 (Ver Fotografía N° 5.13).



**Fotografía N° 5.21: Viales para DQO de Rango Alto y Rango Bajo y Digestor Hach DRB 200**

El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Encender el equipo digestor marca Hach DRB 200 y programarlo a una temperatura de 150 °C.
- ✓ Remover cuidadosamente la tapa del vial para DQO marca Hach, inclinar 45° y pipetear 2ml de muestra en él.
- ✓ Tapar cuidadosamente el vial y limpiarlo con un papel suave.
- ✓ Sostener el vial desde la tapa e invertirlo muchas veces con la finalidad de mezclar bien los contenidos.

- ✓ Preparar un vial blanco (Blanco de la medición) repitiendo los tres pasos anteriores, utilizando en vez de muestra, 2ml de agua destilada.
- ✓ Colocar todos los viales y el blanco a 150 °C en el digestor Hach DRB 200 por un tiempo de 2horas.
- ✓ Apagar el digestor y dejar enfriar por 20min con la finalidad de que los viales disminuyan su temperatura a 120 °C o menos.
- ✓ Retirar los viales del digestor y dejar enfriar fuera del equipo.
- ✓ Una vez terminado el proceso de digestión, se continuó con el proceso de lectura utilizando otro equipo, el Colorímetro marca Hach DR/890. (Ver Fotografía N° 5.13).
- ✓ Prender el colorímetro y seleccionar el programa N°16 DQO rango bajo. (DQO Rango Bajo: 0-150 mg/L).
- ✓ O prender el colorímetro y seleccionar el programa N°17 DQO rango alto. (DQO Rango Alto: 20-1500 mg/L).
- ✓ Introducir el adaptador de viales en el contenedor de celdas del equipo.
- ✓ Luego, limpiar correctamente el exterior de los viales, con la finalidad que no hayan interferencias al usar el colorímetro.
- ✓ Colocar el vial preparado con agua destilada en el equipo y presionar el botón Zero (Blanco de la medición).
- ✓ Finalmente, colocar el resto de viales con muestra en el equipo y presionar el botón Read (Lectura de la DQO).

Cabe mencionar que durante la determinación de la demanda química de oxígeno total ( $DQO_{Total}$ ) de las muestras, se realizó también la determinación de los diferentes tipos de DQO, tales como la DQO Soluble, DQO Coloidal y DQO Suspendida.

El criterio para su determinación fue el siguiente:

- La **DQO Soluble** se obtiene utilizando la muestra filtrada a través de un filtro de membrana con un tamaño de poro de 0.45 $\mu$ m y siguiendo el procedimiento anterior.

- La **DQO Coloidal** se obtiene utilizando la muestra filtrada a través de un papel filtro con un tamaño de poro de 5-20 $\mu\text{m}$ , siguiendo el procedimiento anterior y restándole la DQO Soluble obtenida.
- La **DQO Suspendida** o particular se obtiene mediante una diferencia utilizando el valor de la DQO Total, inicialmente hallada con la muestra sin filtrar, menos la DQO Soluble y la DQO Coloidal.

De modo que:

$$DQO\ Total = DQO\ Soluble + DQO\ Coloidal + DQO\ Suspendida$$

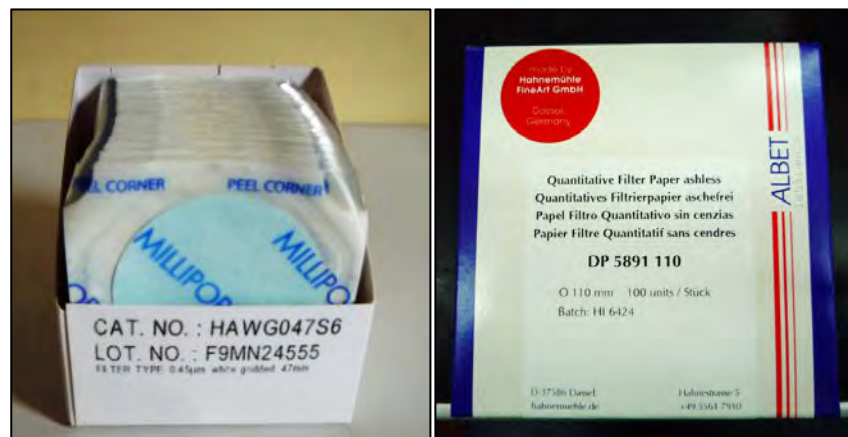
Donde:

DQO Total = Muestra sin filtrar.

DQO Soluble = Muestra filtrada ( $\varnothing=0.45\mu\text{m}$ ).

DQO Soluble + DQO Coloidal = Muestra filtrada ( $\varnothing=5-20\mu\text{m}$ ).

Para ello, fue necesario utilizar filtros de membrana marca Millipore, cuyo diámetro de poro o de retención de partículas es de 0.45 $\mu\text{m}$  y papel filtro Albet DP 5891, cuyo diámetro de poro es de 12-25 $\mu\text{m}$ . (Ver Fotografía N° 5.22).



**Fotografía N° 5.22: Filtro de Membrana marca Millipore y Papel Filtro marca Albet DP 5891**

### 5.8.9 NITRITOS

Para la determinación de la concentración de nitritos en la muestra se utilizaron dos tipos de Reactivo Nitriver marca Hach, 02 celdas de vidrio de 25ml y un colorímetro digital marca Hach DR/890. (Ver Fotografía N° 5.23).

El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Llenar una de las celdas de vidrio con 10 ml de muestra y verter el contenido de un sobre de reactivo Nitriver @3.
- ✓ Agitar bien la celda para mezclar los contenidos correctamente y esperar por 15min.
- ✓ Llenar la segunda celda de vidrio sólo con 10ml de muestra sin ningún reactivo. (Blanco de la medición)
- ✓ Limpiar correctamente el exterior de ambas celdas, con la finalidad que no hayan interferencias al usar el equipo.
- ✓ Pasados los 15min, prender el equipo y seleccionar el programa N°60 Nitritos Rango Bajo (Rango Bajo: 0.000-0.350 mg/L  $\text{NO}_2\text{-N}$ ).
- ✓ Colocar la celda de vidrio que sólo contiene la muestra en el equipo y presionar el botón Zero (Blanco de la medición).
- ✓ Finalmente, colocar la celda de vidrio que contiene la muestra con reactivo y presionar el botón Read (Lectura de Nitritos).



**Fotografía N° 5.23: Reactivo Nitriver, Celdas Hach de 25ml y Colorímetro Hach DR/890**



En el caso que la muestra contenga una concentración alta de nitritos, será necesario emplear un reactivo diferente y variar un poco el procedimiento de determinación.

El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Llenar una de las celdas de vidrio con 10 ml de muestra y verter el contenido de un sobre de reactivo Nitriver @2.
- ✓ Invertir la celda sólo de 5 a 7 veces para mezclar los contenidos correctamente y esperar por 10min.
- ✓ No mover más la celda y dejar sedimentar el contenido.
- ✓ Llenar la segunda celda de vidrio sólo con 10ml de muestra sin ningún reactivo. (Blanco de la medición)
- ✓ Limpiar correctamente el exterior de ambas celdas, con la finalidad que no hayan interferencias al usar el equipo.
- ✓ Pasados los 10min, prender el equipo y seleccionar el programa N°59 Nitritos Rango Alto (Rango Alto: 0-150 mg/L NO<sub>2</sub>-N).
- ✓ Colocar la celda de vidrio que sólo contiene la muestra en el equipo y presionar el botón Zero (Blanco de la medición).
- ✓ Finalmente, colocar la celda de vidrio que contiene la muestra con reactivo y presionar el botón Read (Lectura de Nitritos).

En la presente investigación se utilizaron reactivos de rango bajo (Nitriver @3) para las muestras del Punto A y reactivos de rango alto (Nitriver @2) para las muestras de los Puntos B y C.

#### **5.8.10 NITRATOS**

Para la determinación de la concentración de nitratos en la muestra se empleó un método colorimétrico; se utilizaron tiras de ensayo de Nitrat-Test (Rango: 10 - 500 mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) marca Merck (Ver Fotografía N° 5.24) y vasos de precipitados de 100ml.

El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Verter la muestra en un vaso de precipitados de 100ml e introducir la tira de ensayo durante 1seg en la muestra.
- ✓ Sacudir la tira para eliminar el exceso de líquido en ella y esperar 1min para proceder a la lectura.
- ✓ Clasificar el color de acuerdo a la zona de reacción y compararlo con la zona de color del envase.
- ✓ Finalmente, el resultado obtenido se encuentra como  $\text{NO}_3^-$ , por lo que será necesario multiplicarlo por 0.226 para obtenerlo como mg/L  $\text{NO}_3\text{-N}$ .



**Fotografía N° 5.24: Nitrat-Test Merck y Tira de Ensayo**

### 5.8.11 ALCALINIDAD

Para la determinación de la alcalinidad en la muestra se utilizó la metodología estándar de titulación; se emplearon un reactivo y dos indicadores. (Ver Fotografía N° 5.25). El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Pipetear 50ml de muestra en un matraz Erlenmeyer.
- ✓ Añadir 3 gotas del indicador Fenolftaleína en el matraz y ver el color que muestra.

- ✓ Si la muestra da color rosado, titular con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N, por medio de una bureta, hasta que el color rosado desaparezca (incoloro) y tomar nota de los ml de ácido usado.
- ✓ Si la muestra permanece incolora, no añadir reactivo alguno.
- ✓ Luego añadir 3 gotas del indicador de Anaranjado de Metilo y ver el color que muestra.
- ✓ Si la muestra da color amarillo, titular con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.02N, utilizando la misma bureta anterior hasta que el color se convierta a un anaranjado salmón (naranja suave) y tomar nota de los ml de ácido usado.
- ✓ Si la muestra se torna de un color anaranjado, no será necesario añadir más ácido.



**Fotografía N° 5.25: Matraz y Probeta de vidrio, Reactivo Ácido Sulfúrico e Indicadores Fenolftaleína y Anaranjado de Metilo**

Cabe mencionar que durante la determinación de la alcalinidad en las muestras, no se obtuvo alcalinidad a la fenolftaleína. Por lo que no hay presencia de carbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ), ni de hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). En las muestras, sólo se observa alcalinidad al anaranjado de metilo y es debido a la presencia de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ).

De modo que:

$$\text{Alcalinidad} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) = \frac{M \times N \times 50,000}{\text{ml de muestra neutralizada}}$$

Donde:

M = Volumen de  $H_2SO_4$  gastado en la titulación usando como indicador Anaranjado de Metilo.

N = Normalidad del  $H_2SO_4$

### 5.8.12 PRODUCCIÓN DE LODOS

Para la determinación de la producción de lodos en el sistema fue necesario trasladar semanalmente el contenido del sedimentador hacia un Cono Imhoff (Ver Fotografía N° 5.26) y dejar sedimentar. Luego, para calcular la producción de lodos diaria del sistema y en ml/día se deberá dividir el resultado anterior entre 7.



Fotografía N° 5.26: Cono Imhoff

### 5.8.13 COLIFORMES FECALES O TERMOTOLERANTES

Para la determinación de la concentración de coliformes fecales en las muestras se utilizó el método de filtración por membrana. Este método normalmente se utiliza en aguas claras, por lo que fue necesario realizar varias diluciones de las muestras.

Luego, fue necesario emplear 15 tubos cónicos de 50ml, un matraz Erlenmeyer de 250ml, 10 pipetas de 10ml, 06 placas Petri, un frasco de 1Lt, agua destilada, peptona, agar base m-FC, un mechero bunsen, un trípode, una balanza, almohadillas o pads, filtros de membrana, una incubadora, un autoclave y un horno. (Ver Fotografía N° 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, 5.33, 5.34). El procedimiento fue el siguiente:

- ✓ Preparar agua peptonada para realizar las diluciones de las muestras. Para ello, mezclar 1gramo de peptona en 1Litro de agua destilada. Llevar a la autoclave por 15min.
- ✓ Envolver las placas Petri y pipetas en papel craft. Llevar al horno y esterilizar a 180°C por 30min.



**Fotografía N° 5.27: Peptona, Autoclave y Frasco de 1Lt con Agua Peptonada**



**Fotografía N° 5.28: Placas Petri envueltas en Papel craft y Horno de Esterilización**

✓ Preparar las muestras diluidas en los tubos cónicos de 50ml de acuerdo al siguiente patrón:

- Tubo  $10^{-1}$  = 45 ml agua peptonada + 5 ml muestra
- Tubo  $10^{-2}$  = 45 ml agua peptonada + 5 ml Tubo  $10^{-1}$
- Tubo  $10^{-3}$  = 45 ml agua peptonada + 5 ml Tubo  $10^{-2}$
- Tubo  $10^{-4}$  = 45 ml agua peptonada + 5 ml Tubo  $10^{-3}$
- Tubo  $10^{-5}$  = 45 ml agua peptonada + 5 ml Tubo  $10^{-4}$



**Fotografía N° 5.29: Preparación de las Muestras Diluidas en Tubos Cónicos de 50ml**

✓ Preparar el agar base m-FC de acuerdo a las indicaciones de la marca. Tomar la medida necesaria de agar y disolverlo en agua destilada bajo fuego.



**Fotografía N° 5.30: Preparación del Agar Base m-FC**

- ✓ Colocar las almohadillas o pads en el interior de las placas Petri. Luego, verter una cantidad considerable de agar base sobre los pads, tapar y dejar enfriar.



**Fotografía N° 5.31: Vertimiento del Agar Base m-FC sobre las almohadillas o pads y Vista de los Filtros de Membrana**

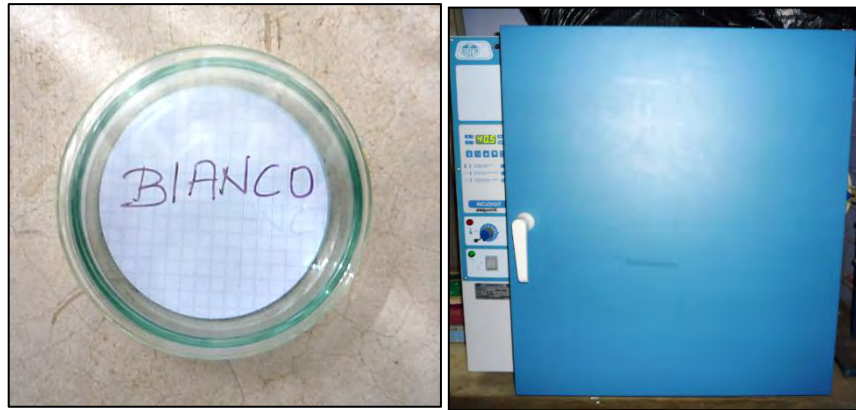
- ✓ Colocar el filtro de membrana en el vaso de filtración y proceder al filtrado. Primero; es recomendable filtrar como referencia, sólo agua peptonada (Blanco de la medición) y luego proceder con las muestras diluidas.



**Fotografía N° 5.32: Utilización del Vaso de Filtración con Muestras Diluidas**

- ✓ Colocar los filtros de membrana utilizados en la filtración sobre las almohadillas o pads, los cuales se encuentran sumergidos en agar base. Tapar herméticamente las placas.

- ✓ Dejar incubar las placas Petri durante 24 horas a una temperatura de 44 °C en baño maría.
- ✓ Luego, la placa Petri que contiene el filtro de membrana que se usó para la filtración del agua peptonada (Blanco de la medición), no deberá presentar formación de colonias.



**Fotografía N° 5.33: Placa Petri conteniendo Filtro de Membrana (Blanco) e Incubadora**

- ✓ Finalmente, contar el número de colonias formadas en las otras placas.



**Fotografía N° 5.34: Formación de Colonias**

De modo que:

$$\text{Coli. Fecales} \left( \frac{\text{UFC}}{100\text{ml}} \right) = \frac{\text{N}^\circ \text{ colonias} \times 100}{\text{Volumen de filtración} \times \text{Dilución}}$$



Donde:

UFC/100ml = Unidades formadoras de colonia por 100ml de muestra

#### 5.8.14 IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS

Para la identificación de los diferentes microorganismos en las muestras se utilizó un microscopio modelo Primo Star marca Zeiss (Ver Fotografía N° 5.35). El cual, al contar con diferentes medidas de lentes, favoreció a la identificación de especies.



Fotografía N° 5.35: Microscopio Zeiss

#### 5.9 PERIODICIDAD DE ANÁLISIS MONITOREADOS

La periodicidad de los análisis monitoreados fue variable dependiendo del parámetro a medir. En algunos casos los valores obtenidos fueron valores promedio de toda una semana de evaluación y en otros, fueron valores obtenidos de una sola medición durante esa semana. Veamos:

➤ Caudal promedio (ml/seg):

Es el promedio obtenido de los aforos diarios, realizados de lunes a viernes, durante tres veces al día (9:30am - 12:30pm - 3:30pm) en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).

- Temperatura Ambiental (°C):  
Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizadas de lunes a viernes, durante tres veces al día (9:30am - 12:30pm - 3:30pm).
- Temperatura en el Punto de Muestreo (°C):  
Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizadas de lunes a viernes, durante tres veces al día (9:30am - 12:30pm - 3:30pm) en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- pH:  
Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizadas de lunes a viernes, durante tres veces al día (9:30am - 12:30pm - 3:30pm) en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- Turbiedad (FAU):  
Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizadas de lunes a viernes, durante tres veces al día (9:30am - 12:30pm - 3:30pm) en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- Sólidos Totales (mg/L):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días miércoles del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- Sólidos Disueltos Totales (mg/L):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días miércoles del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- Sólidos Volátiles Totales (mg/L):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días miércoles del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).

- Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ):

Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días miércoles del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- Oxígeno Disuelto ( $\text{mg}/\text{L}$ ):

Es el promedio obtenido de las mediciones diarias, realizadas de lunes a viernes, durante una vez al día (12:30pm) en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $\text{mg}/\text{L}$ ):

Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días miércoles del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
- Demanda Química de Oxígeno ( $\text{mg}/\text{L}$ ):

Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días jueves del periodo de evaluación, en dos puntos de medición (Punto A y C).
- DQO Soluble ( $\text{mg}/\text{L}$ ):

Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días jueves del periodo de evaluación, en dos puntos de medición (Punto A y C).
- DQO Coloidal ( $\text{mg}/\text{L}$ ):

Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días jueves del periodo de evaluación, en dos puntos de medición (Punto A y C).
- DQO Suspendida ( $\text{mg}/\text{L}$ ):

Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días jueves del periodo de evaluación, en dos puntos de medición (Punto A y C).

- Nitritos (mg/L):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días jueves del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
  
- Nitratos (mg/L):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días jueves del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
  
- Alcalinidad (mg/L):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante el día jueves de la semana N°22 del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).
  
- Producción de Lodos (ml/día):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días martes del periodo de evaluación.
  
- Coliformes Fecales (UFC/100ml):  
Es el resultado obtenido de los análisis realizados durante sólo los días martes del periodo de evaluación, en los tres puntos de medición (Punto A, B y C).

## **5.10 PERIODOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto fue puesto en marcha el día 17 de mayo del 2011 por un periodo de 12 días. Durante este periodo se implementaron algunas medidas de mejora con la finalidad de perfeccionar el comportamiento del sistema.

Luego, se dio inicio al periodo de evaluación del sistema el día 30 de mayo del mismo año, por un periodo de 22 semanas, hasta el día 28 de octubre del mismo año. (Ver Cuadro N° 5.4).

**Cuadro N° 5.4: Periodos del Proyecto de Investigación**

Periodo	Fecha Inicio	Fecha Fin
Puesta en Marcha	17/05/2011	29/05/2011
Evaluación	30/05/2011	28/10/2011

### **5.11 IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS DURANTE EL PERIODO DE PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA**

A continuación se detallan las medidas de mejora implementadas durante el periodo de puesta en marcha del sistema DHS tipo bloques prismáticos. Las medidas de mejora fueron realizadas en las siguientes unidades y zonas. Veamos:

- En el sistema de almacenamiento y distribución de caudal
- En el sistema de tratamiento secundario
- En el sistema recolector de caudal
- En el sistema de sedimentación y salida
- En las zonas de aireación.

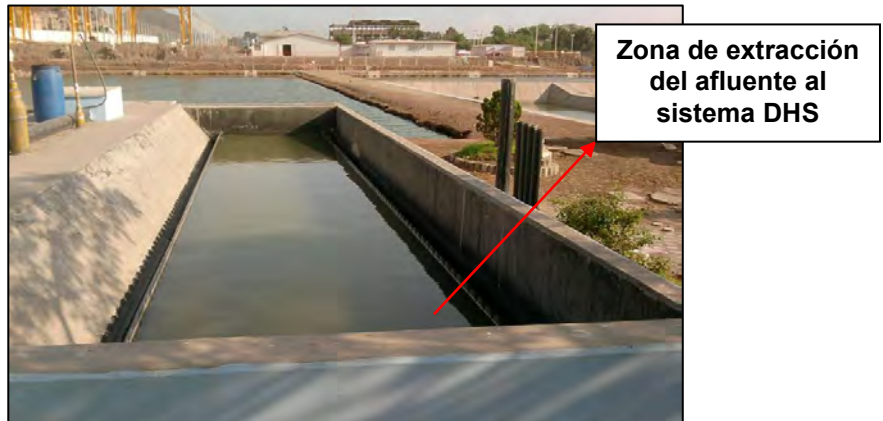
#### **5.11.1 EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE CAUDAL**

Durante el periodo de puesta en marcha se observó que el tanque de almacenamiento tenía capacidad para abastecer el sistema durante 1 día y medio. Lo que no significó un mayor problema, ya que el reactor UASB (Ver Fotografía N° 5.36) de donde se obtenía el afluente para nuestro sistema, se encontraba a sólo unos 30m de distancia aproximadamente.

El afluente para el sistema DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto era obtenido mediante bombeo directo desde una de las canaletas de salida del reactor UASB. (Ver Fotografía N° 5.37).



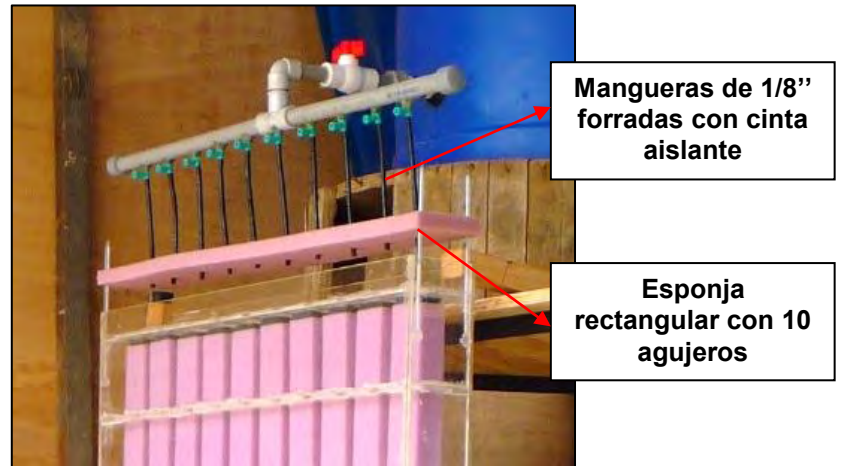
**Fotografía N° 5.36: Vista General del Reactor UASB de CITRAR-UNI**



**Fotografía N° 5.37: Canaleta de salida del Reactor UASB de CITRAR-UNI**

Luego, en la zona de distribución de caudal se observó que las 10 mangueras de 1/8" que se encargaban de conducir el afluente hacia el material filtrante del reactor R1, al ser transparentes, podían favorecer la aparición de algas y obstruirse rápidamente; por lo que se optó por envolverlas con cinta aislante oscura y evitar así el paso de la luz. (Ver Fotografía 5.38).

Del mismo modo, se implementó una esponja rectangular con 10 agujeros en la zona de ingreso al reactor R1 para que sirviera como base y mantuviera a cada una de las mangueras fijas, de tal modo que éstas puedan abastecer correctamente al material filtrante en el punto medio. (Ver Fotografía N° 5.39).



**Fotografía N° 5.38: Detalle del Sistema Distribuidor de Caudal**

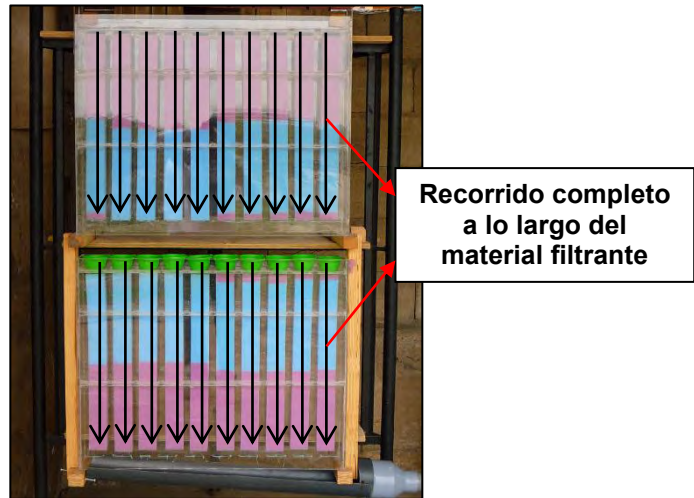


**Fotografía N° 5.39: Vista Lateral del Sistema Distribuidor de Caudal**

### **5.11.2 EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO**

Durante el periodo de puesta en marcha se observó que el material filtrante de los reactores R1 y R2 era difícil de humedecer y saturar con un caudal tan bajo como el caudal de diseño, por lo que se facilitó el recorrido del flujo dentro de las esponjas y se marcó un camino haciendo pasar un alambre por el punto medio de cada una de estas.

Luego, con este camino se aseguró que el flujo hiciera el recorrido completo a lo largo de todo el material filtrante en los reactores R1 y R2. (Ver Fotografía N° 5.40).



**Fotografía N° 5.40: Detalle del flujo en R1 y R2**

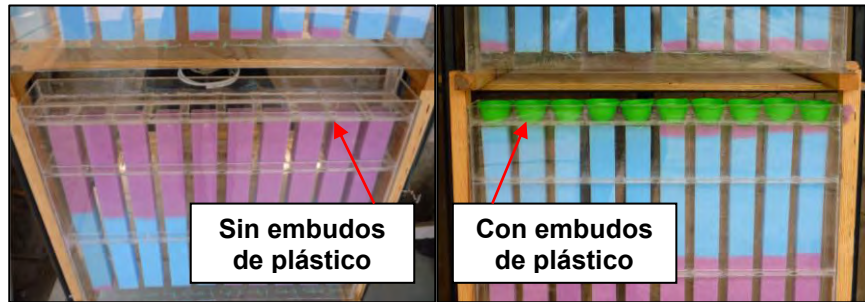
Por otro lado, se observó que el afluente al sistema DHS contenía cierto porcentaje de grasas que podía obstruir en un futuro el material filtrante; por lo que se optó por colocar esponjas verdes de fregar sobre el área superior de cada una de las esponjas del Reactor R1 y evitar así, el paso de grasas a las esponjas de poliuretano. (Ver Fotografía N° 5.41).



**Fotografía N° 5.41: Esponjas verdes sobre Material Filtrante del Reactor R1**

Luego, se observó que por acción del viento, las gotas de agua residual que salían del material filtrante del reactor R1 difícilmente coincidían con el punto medio del área superficial de las esponjas del reactor R2. Por lo que se colocaron pequeños embudos de plástico al ingreso del reactor R2 y sobre cada una de las esponjas del mismo. (Ver Fotografía N° 5.42).





**Fotografía N° 5.42: Embudos de plástico sobre Material Filtrante del Reactor R2**

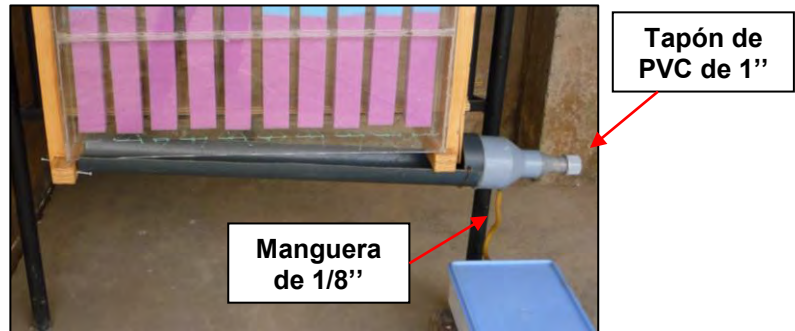
Por último; se observó que el material acrílico, al ser transparente, permitía el ingreso de los rayos del sol hacia el material filtrante; por lo que se optó por envolver al reactor R1 y al R2 con plástico oscuro y evitar así, la formación de algas en las esponjas de poliuretano. (Ver Fotografía N° 5.43).



**Fotografía N° 5.43: Reactor R1 y R2 envueltos en plástico**

### 5.11.3 EN EL SISTEMA RECOLECTOR DE CAUDAL

Durante el periodo de puesta en marcha se observó que el sistema recolector de caudal no iba a funcionar adecuadamente con las reducciones pensadas en un principio, por lo que se hizo un pequeño agujero en la parte más baja de la tubería y se colocó una manguera de plástico de 1/8" para conectar ésta con el sistema de sedimentación. Luego, se colocó un tapón de PVC de 1" a la salida de las reducciones ya que éstos accesorios no iban a tener mayor funcionalidad. (Ver Fotografía N° 5.44).



Fotografía N° 5.44: Reactor R1 y R2 envueltos en plástico

#### 5.11.4 EN EL SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN Y SALIDA

Durante el periodo de puesta en marcha se observó la formación de algas en el sedimentador, por lo que se optó por envolverlo completamente con plástico oscuro. (Ver Fotografía N° 5.45).



Fotografía N° 5.45: Sedimentador envuelto en plástico

#### 5.11.5 EN LAS ZONAS DE AIREACIÓN

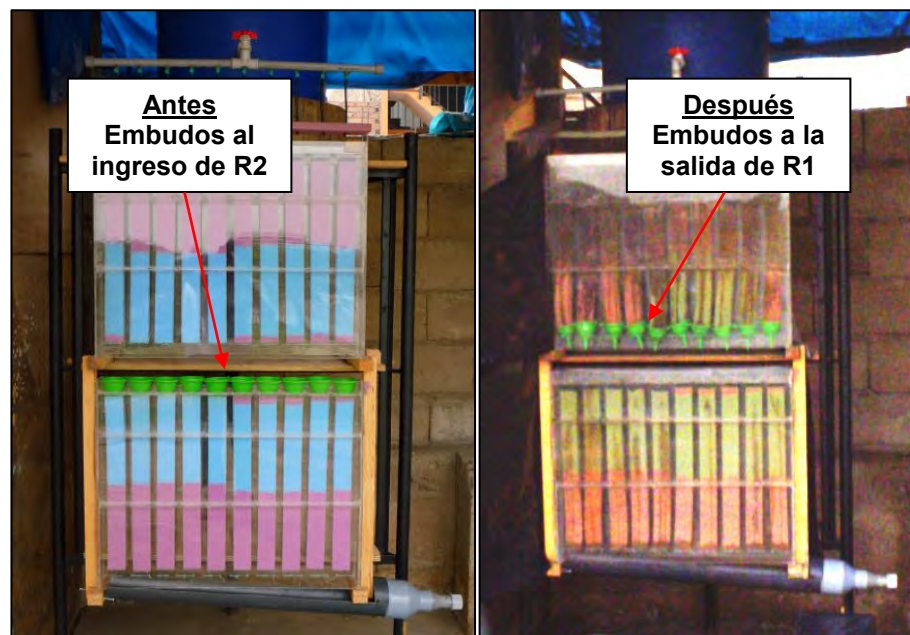
Durante el periodo de puesta en marcha se observó la aparición de mosquitos en las zonas aledañas al sistema de tratamiento secundario, por lo que se tomó la medida de envolver las zonas de aireación con mallas de plástico que permitan el ingreso de aire, pero que no permitan el ingreso de mosquitos a los reactores R1 y R2. (Ver Fotografía N° 5.46).



Fotografía N° 5.46: Mallas de plástico en Zonas de Aireación

### 5.12 IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS DURANTE EL PERIODO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA

Con la finalidad de mejorar el proceso de aireación del agua residual al ingreso del reactor R2, se realizó una pequeña variación en la ubicación de los embudos de plástico. El cambio se realizó desde la semana N° 11 del periodo de evaluación (8 agosto - 12 agosto 2011) hasta la semana N° 22 (24 octubre - 28 octubre 2011). Los embudos fueron reubicados de la zona de ingreso al reactor R2, hacia la salida del reactor R1, donde se instalaron colgantes del material filtrante del reactor R1. (Ver Fotografía N° 5.47).



Fotografía N° 5.47: Reubicación de los embudos de plástico

### 5.13 TÉCNICAS DE MUESTREO

Para el muestreo de resultados en el Punto A y B fue necesario implementar un tomador de muestra que consistía en una tubería de PVC de 2" seccionada por la mitad, de 70cm de largo y con dos tapones de PVC a los costados. (Ver Fotografía N° 5.48 y 5.49).



**Fotografía N° 5.48: Tomador de muestra**



**Fotografía N° 5.49: Tomador de muestra en el Punto A y B**

Y en el caso del Punto C, no hubo mayor inconveniente debido a que el sedimentador contaba con una manguera de plástico de 1/4" para facilitar la salida del efluente. (Ver Fotografía N° 5.50).



**Fotografía N° 5.50: Muestreo del Punto C y Muestras A-B-C**

## **CAPITULO 6**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos por semana y por parámetro de medición y control, de acuerdo al monitoreo realizado durante el periodo de evaluación del sistema.

#### **6.1 RESULTADOS OBTENIDOS POR SEMANA**

A continuación se detallan todos los resultados obtenidos del análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos por N° de semana. (Ver Cuadro N° 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11).

Cuadro N° 6.1: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 01 y 02

Semana 01				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.17	0.99	0.87
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	-		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	21.18	21.13	21.38
pH	-	7.37	8.09	8.22
Turbiedad	FAU	94.36	72.07	45.29
Sólidos Totales	mg/L	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	-	-
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	-	-	-
Conductividad	µS/cm	-	-	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-
DQO Soluble	mg/L	-	-	-
DQO Coloidal	mg/L	-	-	-
DQO Suspendida	mg/L	-	-	-
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	-	-	-
Producción de lodos	ml/día	5.71		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-

Semana 02				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.16	1.00	0.84
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	21.39		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	20.42	20.46	20.60
pH	-	7.57	8.23	8.33
Turbiedad	FAU	89.92	44.77	19.85
Sólidos Totales	mg/L	736	708	712
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	644	648	604
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	240	208	208
Conductividad	µS/cm	-	-	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	80.59	19.84	10.33
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-
DQO Soluble	mg/L	-	-	-
DQO Coloidal	mg/L	-	-	-
DQO Suspendida	mg/L	-	-	-
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	8.08	1.72	0.75
Producción de lodos	ml/día	5.86		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-

Cuadro N° 6.2: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 03 y 04

Semana 03				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.22	1.09	1.04
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	22.70		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	21.16	21.25	21.41
pH	-	7.63	8.22	8.23
Turbiedad	FAU	94.13	43.13	28.00
Sólidos Totales	mg/L	836	792	828
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	692	768	764
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	296	232	224
Conductividad	μS/cm	-	-	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.30	4.71	5.05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	90.61	12.66	9.03
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-
DQO Soluble	mg/L	-	-	-
DQO Coloidal	mg/L	-	-	-
DQO Suspendida	mg/L	-	-	-
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	9.55	1.19	0.81
Producción de lodos	ml/día	1.29		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-

Semana 04				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.21	1.10	1.07
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	20.37		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	19.77	19.81	20.07
pH	-	7.57	8.12	7.97
Turbiedad	FAU	96.67	31.00	21.87
Sólidos Totales	mg/L	916	776	784
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	712	732	700
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	408	376	364
Conductividad	μS/cm	1105	1058	1041
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.69	4.50	4.98
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	106.42	24.40	14.44
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-
DQO Soluble	mg/L	-	-	-
DQO Coloidal	mg/L	-	-	-
DQO Suspendida	mg/L	-	-	-
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	11.11	2.32	1.34
Producción de lodos	ml/día	1.29		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-

Cuadro N° 6.3: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 05 y 06

Semana 05				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.15	1.07	1.02
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	20.41		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	19.54	19.63	19.74
pH	-	7.27	7.78	7.70
Turbiedad	FAU	93.55	34.09	22.55
Sólidos Totales	mg/L	700	708	724
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	592	604	588
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	268	196	240
Conductividad	μS/cm	1371	1345	1315
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.72	4.64	4.93
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	69.92	22.66	10.12
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-
DQO Soluble	mg/L	-	-	-
DQO Coloidal	mg/L	-	-	-
DQO Suspendida	mg/L	-	-	-
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	6.92	2.09	0.89
Producción de lodos	ml/día	1.00		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-

Semana 06				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.16	1.02	0.94
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	19.05		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	18.44	18.52	18.68
pH	-	7.31	7.70	7.63
Turbiedad	FAU	96.13	37.33	20.73
Sólidos Totales	mg/L	840	824	860
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	732	740	708
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	228	196	248
Conductividad	μS/cm	1461	1381	1355
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.82	4.44	4.88
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	98.59	20.73	11.01
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-
DQO Soluble	mg/L	-	-	-
DQO Coloidal	mg/L	-	-	-
DQO Suspendida	mg/L	-	-	-
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	9.89	1.82	0.90
Producción de lodos	ml/día	2.14		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	2.34E+06	5.71E+05	5.00E+03



Cuadro N° 6.4: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 07 y 08

Semana 07				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.24	1.11	0.98
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	19.92		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	18.76	18.76	18.94
pH	-	7.18	7.77	7.73
Turbiedad	FAU	113.62	45.38	28.00
Sólidos Totales	mg/L	704	752	744
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	616	660	644
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	260	228	264
Conductividad	μS/cm	1399	1374	1339
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.18	4.55	5.20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	100.19	19.31	12.49
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	285.00	-	106.00
DQO Soluble	mg/L	183.00	-	74.00
DQO Coloidal	mg/L	60.00	-	3.00
DQO Suspendida	mg/L	42.00	-	29.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	10.71	1.85	1.05
Producción de lodos	ml/día	5.71		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	5.00E+06	1.10E+05	1.00E+04

Semana 08				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.21	1.08	0.99
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	19.15		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	17.91	17.98	18.14
pH	-	7.38	7.81	7.78
Turbiedad	FAU	92.85	24.15	14.08
Sólidos Totales	mg/L	704	648	688
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	608	580	588
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	272	168	208
Conductividad	μS/cm	1433	1360	1281
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.67	4.69	5.37
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	86.84	19.66	14.85
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	204.00	-	72.00
DQO Soluble	mg/L	165.00	-	53.00
DQO Coloidal	mg/L	30.00	-	11.00
DQO Suspendida	mg/L	9.00	-	8.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.016	-	26.52
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	9.10	1.83	1.27
Producción de lodos	ml/día	2.57		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	6.00E+06	2.00E+05	6.50E+04

Cuadro N° 6.5: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 09 y 10

Semana 09				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.31	1.14	1.16
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	20.49		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	18.31	18.46	18.54
pH	-	7.17	7.69	7.65
Turbiedad	FAU	67.50	15.00	7.75
Sólidos Totales	mg/L	844	836	896
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	548	572	560
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	548	572	560
Conductividad	μS/cm	1176	1145	1136
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.58	4.78	5.22
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	99.88	12.00	7.50
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-
DQO Soluble	mg/L	-	-	-
DQO Coloidal	mg/L	-	-	-
DQO Suspendida	mg/L	-	-	-
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	11.29	1.18	0.75
Producción de lodos	ml/día	1.57		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	1.10E+06	1.00E+05	1.75E+03

Semana 10				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.28	1.14	1.10
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	18.82		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	17.66	17.81	18.01
pH	-	7.25	7.71	7.71
Turbiedad	FAU	112.50	27.86	20.07
Sólidos Totales	mg/L	848	800	792
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	632	620	624
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	388	260	220
Conductividad	μS/cm	1291	1231	1136
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.60	4.34	5.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	101.43	20.22	8.45
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	223.00	-	74.00
DQO Soluble	mg/L	168.00	-	61.00
DQO Coloidal	mg/L	48.00	-	12.00
DQO Suspendida	mg/L	7.00	-	1.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	11.20	1.99	0.81
Producción de lodos	ml/día	1.00		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	2.50E+06	1.85E+06	1.50E+05

Cuadro N° 6.6: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 11 y 12

Semana 11				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.28	1.12	1.08
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	19.34		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	17.89	18.09	18.09
pH	-	7.18	7.54	7.49
Turbiedad	FAU	119.36	26.43	13.79
Sólidos Totales	mg/L	612	596	660
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	576	560	592
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	196	184	200
Conductividad	μS/cm	989	943	931
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.31	4.61	5.44
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	118.52	30.84	22.97
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	287.00	-	70.00
DQO Soluble	mg/L	163.00	-	51.00
DQO Coloidal	mg/L	56.00	-	14.00
DQO Suspendida	mg/L	68.00	-	5.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	-	-	-
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	13.14	2.99	2.14
Producción de lodos	ml/día	0.71		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	4.45E+06	1.00E+06	3.00E+05

Semana 12				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.30	1.11	1.07
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	18.46		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	17.36	17.53	17.66
pH	-	7.19	7.40	7.33
Turbiedad	FAU	110.31	31.08	15.69
Sólidos Totales	mg/L	896	924	760
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	684	740	720
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	316	304	252
Conductividad	μS/cm	1369	1398	1314
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.42	5.03	5.79
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	89.71	30.42	21.62
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	153.00	-	80.00
DQO Soluble	mg/L	115.00	-	59.00
DQO Coloidal	mg/L	29.00	-	16.00
DQO Suspendida	mg/L	9.00	-	5.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.070	16.00	21.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	45.16	67.74
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	10.06	2.92	2.00
Producción de lodos	ml/día	0.57		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	1.20E+07	3.70E+06	1.20E+05

Cuadro N° 6.7: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 13 y 14

Semana 13				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.18	1.04	1.03
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	18.45		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	17.29	17.46	17.60
pH	-	7.28	7.46	7.44
Turbiedad	FAU	113.60	26.00	20.30
Sólidos Totales	mg/L	644	720	756
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	532	564	660
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	320	232	268
Conductividad	μS/cm	1231	1140	1129
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.48	4.87	5.57
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	99.79	25.87	19.15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	203.00	-	72.00
DQO Soluble	mg/L	180.00	-	55.00
DQO Coloidal	mg/L	17.00	-	15.00
DQO Suspendida	mg/L	6.00	-	2.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.026	21.00	28.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	22.58	45.16
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	10.20	2.33	1.70
Producción de lodos	ml/día	0.86		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	7.65E+06	2.80E+06	2.70E+06

Semana 14				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.18	0.97	0.91
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	18.05		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	17.05	17.07	17.16
pH	-	7.05	7.16	7.07
Turbiedad	FAU	127.18	29.45	17.27
Sólidos Totales	mg/L	740	736	788
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	628	612	688
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	236	252	292
Conductividad	μS/cm	1439	1320	1198
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.26	4.30	5.37
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	120.54	29.20	15.37
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	295.00	-	80.00
DQO Soluble	mg/L	175.00	-	75.00
DQO Coloidal	mg/L	101.00	-	3.00
DQO Suspendida	mg/L	19.00	-	2.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.006	16.00	20.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	45.16	67.74
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	12.25	2.45	1.21
Producción de lodos	ml/día	0.46		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	1.75E+07	2.25E+06	1.50E+06

Cuadro N° 6.8: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 15 y 16

Semana 15				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.16	1.02	1.01
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	19.71		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	18.04	18.28	18.41
pH	-	7.01	7.09	7.18
Turbiedad	FAU	130.27	24.73	19.67
Sólidos Totales	mg/L	756	876	912
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	652	712	788
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	340	400	416
Conductividad	μS/cm	1350	1214	1189
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.07	4.20	5.13
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	136.42	27.32	24.68
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	226.00	-	86.00
DQO Soluble	mg/L	124.00	-	79.00
DQO Coloidal	mg/L	80.00	-	3.00
DQO Suspendida	mg/L	22.00	-	4.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.013	16.00	15.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	79.03	84.68
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	13.63	2.41	2.15
Producción de lodos	ml/día	1.00		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	1.20E+07	2.35E+06	2.55E+05

Semana 16				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.07	0.90	0.89
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	19.84		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	18.20	18.49	18.58
pH	-	7.01	7.03	7.04
Turbiedad	FAU	108.20	27.40	17.53
Sólidos Totales	mg/L	632	664	684
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	572	584	628
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	308	252	224
Conductividad	μS/cm	1272	1158	1055
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	1.92	4.88	5.82
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	93.20	26.57	18.67
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	210.00	-	116.00
DQO Soluble	mg/L	120.00	-	58.00
DQO Coloidal	mg/L	67.00	-	21.00
DQO Suspendida	mg/L	23.00	-	37.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.018	7.00	6.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	45.16	56.45
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	8.62	2.07	1.44
Producción de lodos	ml/día	0.71		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	1.07E+07	2.00E+06	1.20E+06

Cuadro N° 6.9: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 17 y 18

Semana 17				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.04	0.92	0.93
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	21.07		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	18.79	19.23	19.33
pH	-	7.07	7.14	7.13
Turbiedad	FAU	98.40	25.80	15.67
Sólidos Totales	mg/L	568	588	608
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	504	516	548
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	276	276	272
Conductividad	μS/cm	1288	1128	1095
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.32	4.56	5.31
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	97.71	26.91	24.39
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	211.00	-	100.00
DQO Soluble	mg/L	138.00	-	90.00
DQO Coloidal	mg/L	68.00	-	3.00
DQO Suspendida	mg/L	5.00	-	7.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.017	12.00	7.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	56.45	67.74
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	8.76	2.14	1.95
Producción de lodos	ml/día	1.43		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	3.00E+06	1.20E+06	3.00E+05

Semana 18				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.14	0.94	0.92
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	21.68		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	19.12	19.17	19.35
pH	-	6.99	6.96	6.95
Turbiedad	FAU	100.53	27.60	20.33
Sólidos Totales	mg/L	504	576	668
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	396	468	492
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	264	320	356
Conductividad	μS/cm	1078	942	892
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	1.34	3.25	4.36
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	85.60	26.23	8.41
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	157.00	-	80.00
DQO Soluble	mg/L	98.00	-	43.00
DQO Coloidal	mg/L	47.00	-	20.00
DQO Suspendida	mg/L	12.00	-	17.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.015	7.00	4.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	39.52	45.16
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	8.42	2.14	0.67
Producción de lodos	ml/día	0.79		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	4.00E+06	4.00E+05	2.25E+05

Cuadro N° 6.10: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 19 y 20

Semana 19				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	1.02	0.87	0.86
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	21.23		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	19.02	19.13	19.25
pH	-	7.06	6.94	6.76
Turbiedad	FAU	110.33	24.27	19.40
Sólidos Totales	mg/L	536	568	740
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	420	476	600
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	356	316	400
Conductividad	μS/cm	1098	900	885
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	1.56	3.20	3.76
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	88.17	26.05	18.54
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	197.00	-	52.00
DQO Soluble	mg/L	84.00	-	45.00
DQO Coloidal	mg/L	104.00	-	2.00
DQO Suspendida	mg/L	9.00	-	5.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.018	10.00	6.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	45.16	40.65
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	7.74	1.97	1.38
Producción de lodos	ml/día	0.64		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	5.00E+06	1.00E+06	8.00E+05

Semana 20				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	0.89	0.75	0.75
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	20.59		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	18.07	18.07	18.09
pH	-	7.34	7.08	6.65
Turbiedad	FAU	94.93	18.47	13.67
Sólidos Totales	mg/L	552	612	760
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	440	536	608
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	268	336	400
Conductividad	μS/cm	1088	921	889
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	2.00	3.29	3.74
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	113.37	23.02	10.81
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	201.00	-	35.00
DQO Soluble	mg/L	129.00	-	29.00
DQO Coloidal	mg/L	69.00	-	4.00
DQO Suspendida	mg/L	3.00	-	2.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.016	3.00	2.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	56.45	49.68
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> -)	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	8.76	1.49	0.70
Producción de lodos	ml/día	0.57		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	5.00E+06	7.00E+05	2.00E+05

Cuadro N° 6.11: Resultados Obtenidos durante la Semana N° 21 y 22

Semana 21				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	0.86	0.79	0.78
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	22.38		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	19.30	19.31	19.06
pH	-	7.47	7.30	7.11
Turbiedad	FAU	96.67	24.50	19.42
Sólidos Totales	mg/L	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	-	-
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	-	-	-
Conductividad	µS/cm	-	-	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	1.89	3.00	3.48
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	170.00	-	56.00
DQO Soluble	mg/L	107.00	-	42.00
DQO Coloidal	mg/L	47.00	-	7.00
DQO Suspendida	mg/L	16.00	-	7.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.011	8.00	10.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	56.45	56.45
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	-	-	-
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	-	-	-
Producción de lodos	ml/día	0.43		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-

Semana 22				
Parámetros	Unidad	Pto. A	Pto. B	Pto. C
Caudal promedio	ml/seg	0.76	0.71	0.71
<b>Parámetros Físicoquímicos</b>				
Temperatura Ambiental	°C	22.63		
Temperatura en el Punto de Muestreo	°C	19.63	19.65	19.63
pH	-	7.61	7.26	6.74
Turbiedad	FAU	103.82	17.00	15.82
Sólidos Totales	mg/L	-	-	-
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	-	-	-
Sólidos Volátiles Totales	mg/L	-	-	-
Conductividad	µS/cm	-	-	-
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	1.93	2.91	3.79
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	189.00	-	54.00
DQO Soluble	mg/L	94.00	-	50.00
DQO Coloidal	mg/L	64.00	-	2.00
DQO Suspendida	mg/L	31.00	-	2.00
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0.350	4.00	2.00
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0.00	67.74	90.32
Alcalinidad (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	328	134	28
Carga Orgánica (C)	g. DBO/día	-	-	-
Producción de lodos	ml/día	0.81		
<b>Parámetros Biológicos</b>				
Coliformes fecales	UFC/100ml	-	-	-



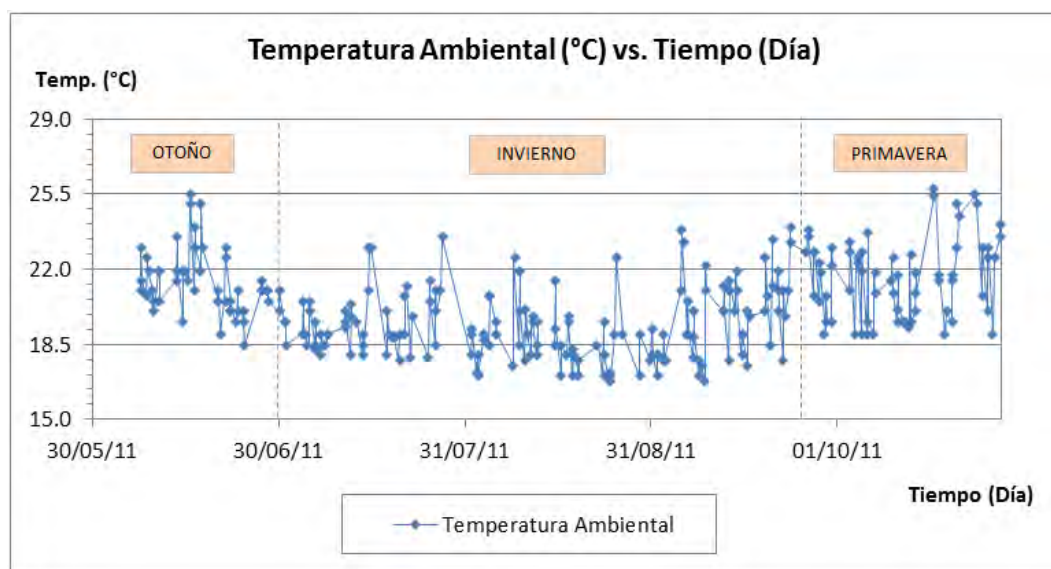
## 6.2 RESULTADOS OBTENIDOS POR PARÁMETRO

A continuación se detallan los resultados obtenidos de los monitoreos realizados durante las 22 semanas del periodo de evaluación a los diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos. Veamos:

### 6.2.1 PARÁMETROS EVALUADOS

#### A) TEMPERATURA AMBIENTAL

Los resultados de la **medición diaria** (Ver Gráfico N° 6.1) indican que la temperatura ambiental tuvo una temperatura mínima de 16.8 °C y máxima de 25.8 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura ambiental promedio de 20.3 °C durante estas 22 semanas.



**Gráfico N° 6.1: Temperatura ambiental vs. Tiempo (Medición Diaria)**

Sin embargo, estos intervalos de temperatura ambiental son muy amplios debido a que corresponden a diferentes estaciones del año. Lo que nos llevó a clasificar el periodo de evaluación de la siguiente forma: (Ver Cuadro N° 6.12).

**Cuadro N° 6.12: Clasificación del Periodo de Evaluación de acuerdo a las Estaciones del Año**

Estaciones del Año	Periodo de Evaluación
Otoño	Semana 1 – Semana 5
Invierno	Semana 6 – Semana 17
Primavera	Semana 18 – Semana 22

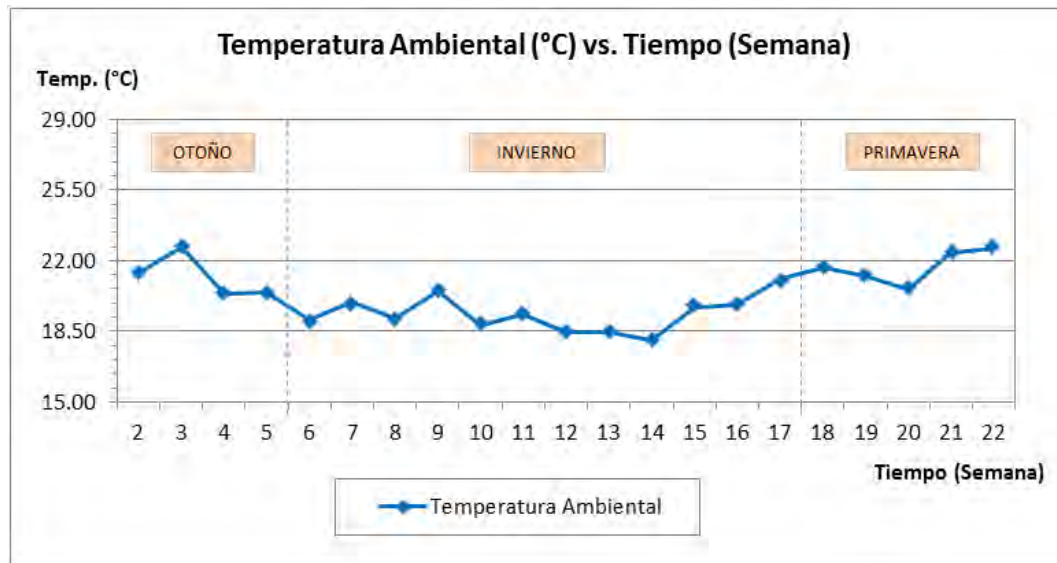
De donde se observa que durante el otoño la temperatura ambiental tuvo una temperatura mínima de 18.5 °C y máxima de 25.5 °C. Siendo la temperatura ambiental promedio de 21.3 °C durante estas 5 semanas.

Luego, durante el invierno la temperatura ambiental tuvo una temperatura mínima de 16.8 °C y máxima de 24.0 °C. Siendo la temperatura ambiental promedio de 19.4 °C durante estas 12 semanas.

Y finalmente, durante la primavera la temperatura ambiental tuvo una temperatura mínima de 19.0 °C y máxima de 25.8 °C. Siendo la temperatura ambiental promedio de 21.6 °C durante estas 5 semanas.

De los resultados de la medición diaria, se procedió a calcular el promedio de estas mediciones por semana de evaluación. Luego, los resultados de la **medición semanal promedio** (Ver Gráfico N° 6.2) indican que la temperatura ambiental tuvo una temperatura semanal mínima de 18.1 °C y semanal máxima de 22.7 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura ambiental semanal promedio de 20.3 °C durante estas 22 semanas.

Posteriormente, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente:



**Gráfico N° 6.2: Temperatura ambiental vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

Durante el otoño la temperatura ambiental tuvo una temperatura semanal mínima de 20.4 °C y semanal máxima de 22.7 °C. Siendo la temperatura ambiental semanal promedio de 21.2 °C durante estas 5 semanas.

Luego, durante el invierno la temperatura ambiental tuvo una temperatura semanal mínima de 18.1 °C y semanal máxima de 21.1 °C. Siendo la temperatura ambiental semanal promedio de 19.4 °C durante estas 12 semanas.

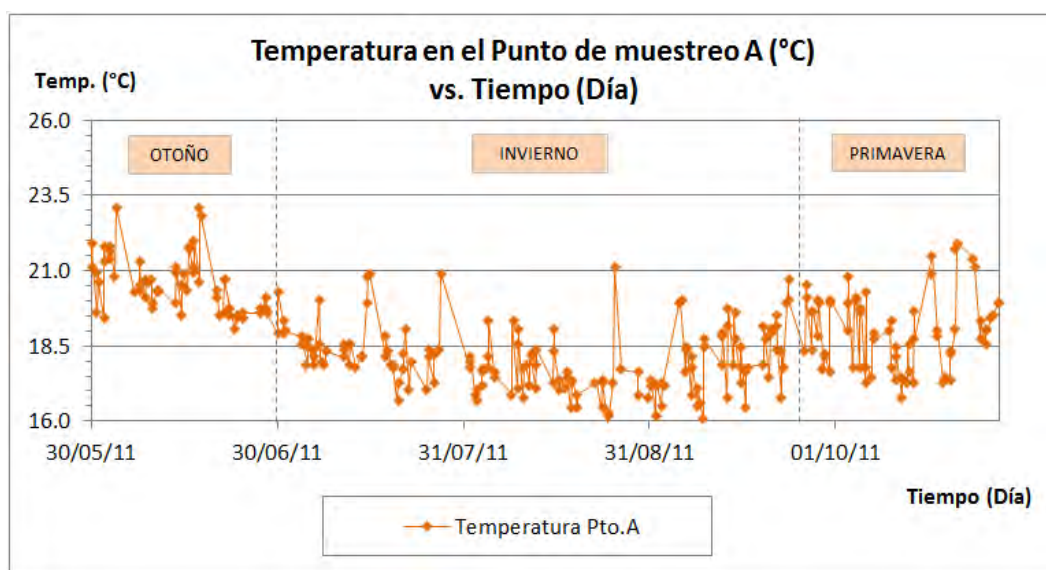
Y finalmente, durante la primavera la temperatura ambiental tuvo una temperatura semanal mínima de 20.6 °C y semanal máxima de 22.6 °C. Siendo la temperatura ambiental semanal promedio de 21.7 °C durante estas 5 semanas.

## **B) TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO**

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 5 - Sección 5.5, las muestras fueron tomadas en tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:

➤ **PUNTO DE MUESTREO A:**

Los resultados de la **medición diaria** (Ver Gráfico N° 6.3) indican que la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura mínima de 15.9 °C y máxima de 23.1 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo A de 18.8 °C durante estas 22 semanas.



Donde:  
Punto A.- Ingreso al Reactor R1

**Gráfico N° 6.3: Temperatura en el punto de muestreo A vs. Tiempo (Medición Diaria)**

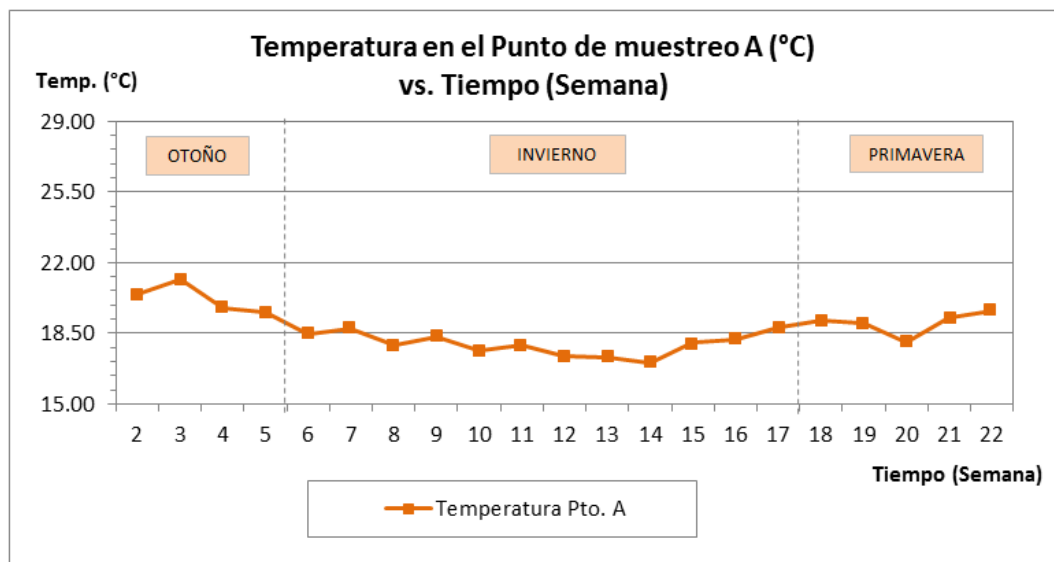
Luego, al ser muy amplios los intervalos de temperatura en el punto de muestreo A, debido a que corresponden a diferentes estaciones del año, se procedió a seguir con la clasificación anteriormente descrita. (Ver Cuadro N° 6.12).

De donde se observa que durante el otoño la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura mínima de 18.9 °C y máxima de 23.1 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo A de 20.5 °C durante estas 5 semanas.

Luego, durante el invierno la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura mínima de 15.9 °C y máxima de 21.1 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo A de 18.0 °C durante estas 12 semanas.

Y finalmente, durante la primavera la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura mínima de 16.8 °C y máxima de 21.9 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo A de 19.0 °C durante estas 5 semanas

De los resultados de la medición diaria, se procedió a calcular el promedio de estas mediciones por semana de evaluación. Luego, los resultados de la **medición semanal promedio** (Ver Gráfico N° 6.4) indican que la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura semanal mínima de 17.1 °C y semanal máxima de 21.2 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo A de 18.8 °C durante estas 22 semanas.



Donde:  
Punto A.- Ingreso al Reactor R1

**Gráfico N° 6.4: Temperatura en el punto de muestreo A vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

Posteriormente, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente:

Durante el otoño la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura semanal mínima de 19.5 °C y semanal máxima de 21.2 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo A de 20.4 °C durante estas 5 semanas.

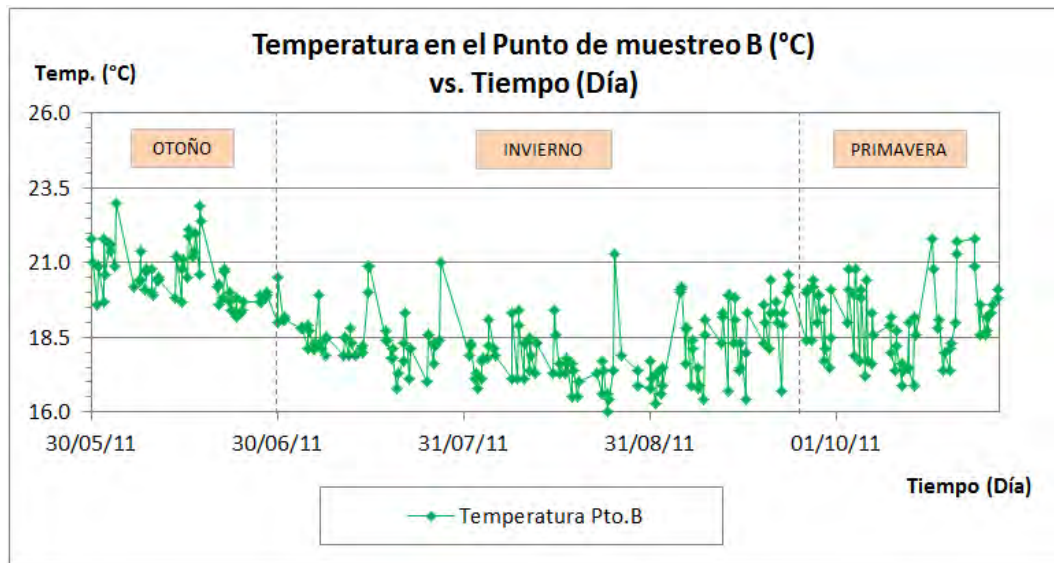
Luego, durante el invierno la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura semanal mínima de 17.1 °C y semanal máxima de 18.8 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo A de 18.0 °C durante estas 12 semanas.

Y finalmente, durante la primavera la temperatura en el punto de muestreo A tuvo una temperatura semanal mínima de 18.1 °C y semanal máxima de 19.6 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo A de 19.0 °C durante estas 5 semanas.

➤ **PUNTO DE MUESTREO B:**

Los resultados de la **medición diaria** (Ver Gráfico N° 6.5) indican que la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura mínima de 16.0 °C y máxima de 23.0 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo B de 18.9 °C durante estas 22 semanas.

Luego, al ser muy amplios los intervalos de temperatura en el punto de muestreo B, debido a que corresponden a diferentes estaciones del año, se procedió a seguir con la clasificación anteriormente descrita. (Ver Cuadro N° 6.12).



Donde:  
Punto B.- Ingreso al Reactor R2

**Gráfico N° 6.5: Temperatura en el punto de muestreo B vs. Tiempo (Medición Diaria)**

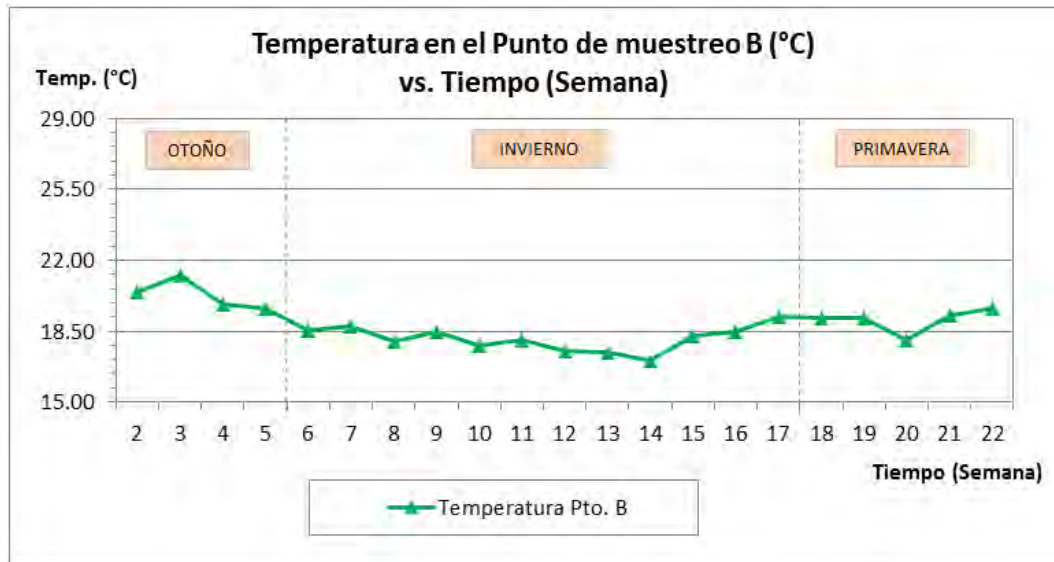
De donde se observa que durante el otoño la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura mínima de 19.0 °C y máxima de 23.0 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo B de 20.5 °C durante estas 5 semanas.

Luego, durante el invierno la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura mínima de 16.0 °C y máxima de 21.3 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo B de 18.1 °C durante estas 12 semanas.

Y finalmente, durante la primavera la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura mínima de 16.9 °C y máxima de 21.8 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo B de 19.0 °C durante estas 5 semanas.

De los resultados de la medición diaria, se procedió a calcular el promedio de estas mediciones por semana de evaluación. Luego, Los resultados de la **medición semanal promedio** (Ver Gráfico N° 6.6) indican que la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura semanal mínima de 17.1 °C

y semanal máxima de 21.3 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo B de 18.9 °C durante estas 22 semanas.



Donde:  
Punto B.- Ingreso al Reactor R2

**Gráfico N° 6.6: Temperatura en el punto de muestreo B vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

Posteriormente, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente:

Durante el otoño la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura semanal mínima de 19.6 °C y semanal máxima de 21.3 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo B de 20.5 °C durante estas 5 semanas.

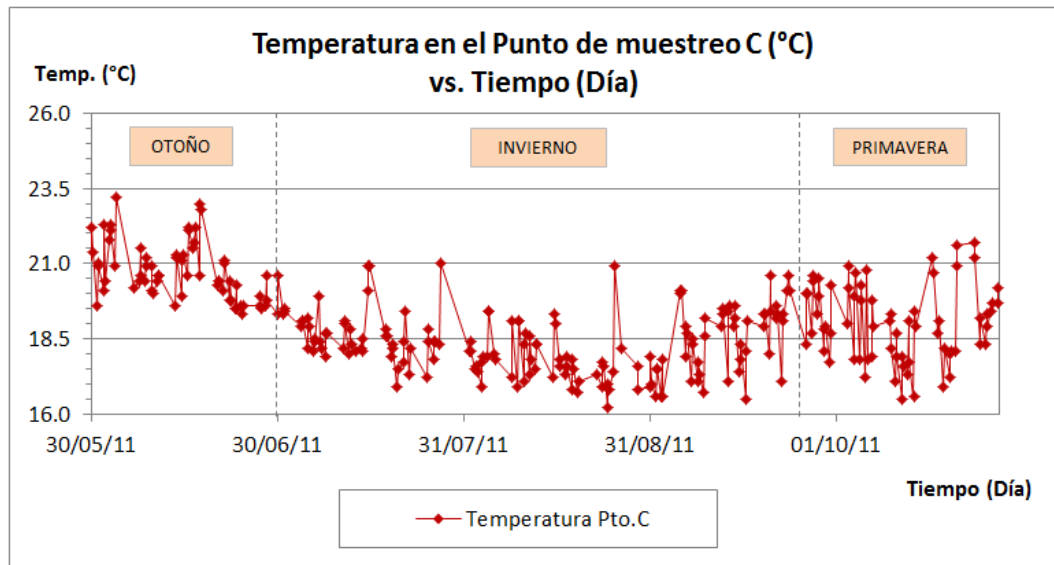
Luego, durante el invierno la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura semanal mínima de 17.1 °C y semanal máxima de 19.2 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo B de 18.1 °C durante estas 12 semanas.



Y finalmente, durante la primavera la temperatura en el punto de muestreo B tuvo una temperatura semanal mínima de 18.1 °C y semanal máxima de 19.7 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo B de 19.1 °C durante estas 5 semanas.

➤ **PUNTO DE MUESTREO C:**

Los resultados de la **medición diaria** (Ver Gráfico N° 6.7) indican que la temperatura en el punto de muestreo C tuvo una temperatura mínima de 16.2 °C y máxima de 23.2 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo C de 19.0 °C durante estas 22 semanas.



Donde:  
Punto C.- Salida del Sedimentador

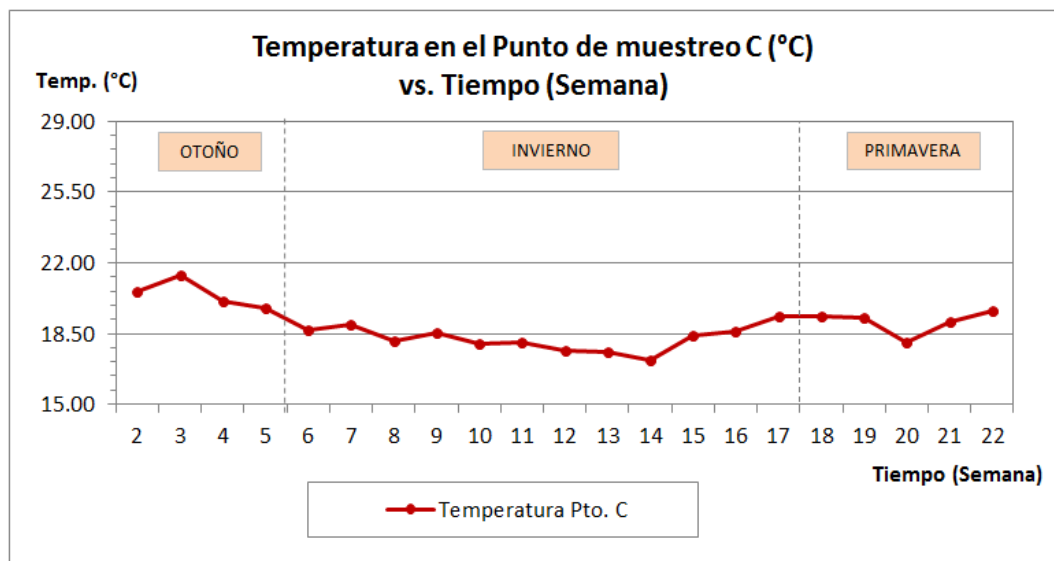
**Gráfico N° 6.7: Temperatura en el punto de muestreo C vs. Tiempo (Medición Diaria)**

Luego, al ser muy amplios los intervalos de temperatura en el punto de muestreo C, debido a que corresponden a diferentes estaciones del año, se procedió a seguir con la clasificación anteriormente descrita. (Ver Cuadro N° 6.12).

De donde se observa que durante el otoño la temperatura en el punto de muestreo C tuvo una temperatura mínima de 19.3 °C y máxima de 23.2 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo C de 20.7 °C durante estas 5 semanas.

Luego, durante el invierno la temperatura en el punto de muestreo C tuvo una temperatura mínima de 16.2 °C y máxima de 21.0 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo de 18.3 °C durante estas 12 semanas.

Y finalmente, durante la primavera la temperatura en el punto de muestreo C tuvo una temperatura mínima de 16.5 °C y máxima de 21.7 °C. Siendo la temperatura promedio en el punto de muestreo C de 19.0 °C durante estas 5 semanas.



Donde:  
Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.8: Temperatura en el punto de muestreo C vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

De los resultados de la medición diaria, se procedió a calcular el promedio de estas mediciones por semana de evaluación. Luego, los resultados de la **medición semanal promedio** (Ver Gráfico N° 6.8) indican que la temperatura en el punto de

muestreo C tuvo una temperatura semanal mínima de 17.2 °C y semanal máxima de 21.4 °C durante todo el periodo de evaluación. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo C de 19.0 °C durante estas 22 semanas.

Posteriormente, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente:

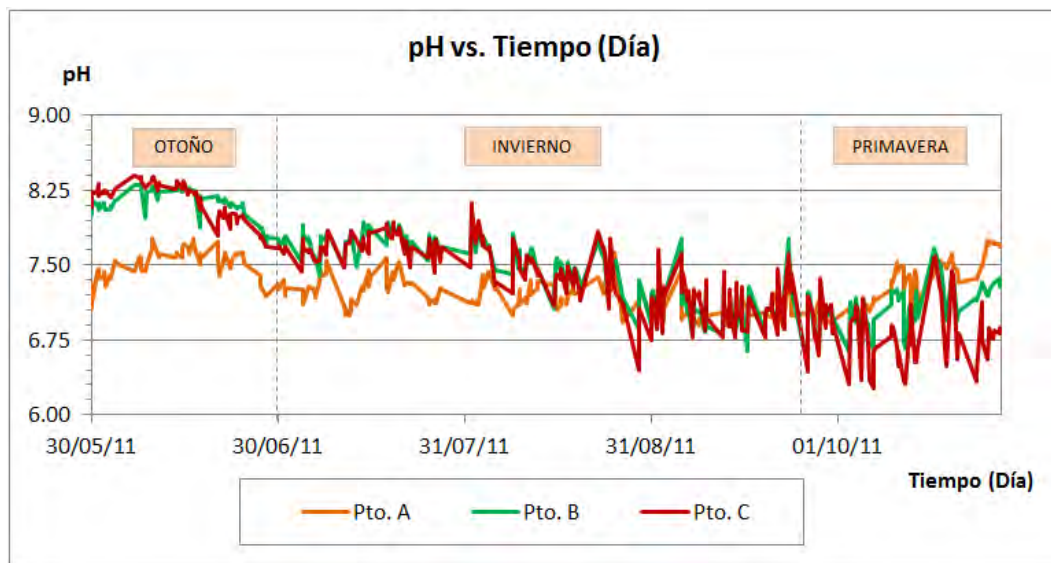
Durante el otoño la temperatura en el punto de muestreo C tuvo una temperatura semanal mínima de 19.7 °C y semanal máxima de 21.4 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo C de 20.6 °C durante estas 5 semanas.

Luego, durante el invierno la temperatura en el punto de muestreo C tuvo una temperatura semanal mínima de 17.2 °C y semanal máxima de 19.3 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo C de 18.3 °C durante estas 12 semanas.

Y finalmente, durante la primavera la temperatura en el punto de muestreo C tuvo una temperatura semanal mínima de 18.1 °C y semanal máxima de 19.6 °C. Siendo la temperatura semanal promedio en el punto de muestreo C de 19.1 °C durante estas 5 semanas.

### **C) PH**

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 5 - Sección 5.5, las muestras para la determinación del potencial de hidrógeno (pH) fueron tomadas en tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

#### Gráfico N° 6.9: Potencial de hidrógeno vs. Tiempo (Medición Diaria)

Los resultados de la **medición diaria** (Ver Gráfico N° 6.9) indican que para el caso de la muestra del Punto A, el pH tuvo un valor mínimo de 6.88 y máximo de 7.76 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH promedio de 7.27 durante estas 22 semanas.

Luego, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente para la muestra del Punto A:

Durante el otoño el pH tuvo un valor mínimo de 7.06 y máximo de 7.76. Siendo el pH promedio de 7.49 durante estas 5 semanas. Luego, durante el invierno el pH tuvo un valor mínimo de 6.88 y máximo de 7.63. Siendo el pH promedio de 7.17 durante estas 12 semanas. Y finalmente, durante la primavera el pH tuvo un valor mínimo de 6.91 y máximo de 7.75. Siendo el pH promedio de 7.27 durante estas 5 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B, el pH tuvo un valor mínimo de 6.49 y máximo de 8.31 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH promedio de 7.52 durante estas 22 semanas.

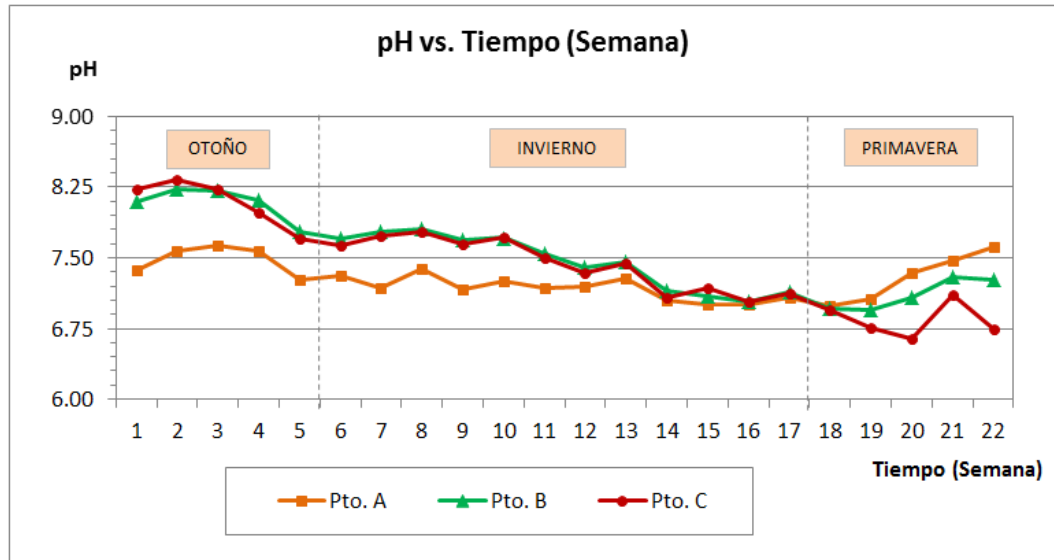
Luego, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente para la muestra del Punto B:

Durante el otoño el pH tuvo un valor mínimo de 7.67 y máximo de 8.31. Siendo el pH promedio de 8.10 durante estas 5 semanas. Luego, durante el invierno el pH tuvo un valor mínimo de 6.63 y máximo de 7.96. Siendo el pH promedio de 7.45 durante estas 12 semanas. Y finalmente, durante la primavera el pH tuvo un valor mínimo de 6.49 y máximo de 7.67. Siendo el pH promedio de 7.09 durante estas 5 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, el pH tuvo un valor mínimo de 6.26 y máximo de 8.40 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH promedio de 7.44 durante estas 22 semanas.

Luego, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente para la muestra del Punto C:

Durante el otoño el pH tuvo un valor mínimo de 7.62 y máximo de 8.40. Siendo el pH promedio de 8.11 durante estas 5 semanas. Luego, durante el invierno el pH tuvo un valor mínimo de 6.45 y máximo de 8.12. Siendo el pH promedio de 7.42 durante estas 12 semanas. Y finalmente, durante la primavera el pH tuvo un valor mínimo de 6.26 y máximo de 7.59. Siendo el pH promedio de 6.83 durante estas 5 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.10: Potencial de hidrógeno vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

De los resultados de la medición diaria, se procedió a calcular el promedio de estas mediciones por semana de evaluación. Luego, los resultados de la **medición semanal promedio** (Ver Gráfico N° 6.10) indican lo siguiente:

Para el caso de la muestra del Punto A, el pH tuvo un valor semanal mínimo de 6.99 y semanal máximo de 7.63 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH semanal promedio de 7.27 durante estas 22 semanas.

Luego, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente para la muestra del Punto A:

Durante el otoño el pH tuvo un valor semanal mínimo de 7.27 y semanal máximo de 7.63. Siendo el pH semanal promedio de 7.48 durante estas 5 semanas. Luego, durante el invierno el pH tuvo un valor semanal mínimo de 7.01 y semanal

máximo de 7.38. Siendo el pH semanal promedio de 7.18 durante estas 12 semanas. Y finalmente, durante la primavera el pH tuvo un valor semanal mínimo de 6.99 y semanal máximo de 7.61. Siendo el pH semanal promedio de 7.30 durante estas 5 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B, el pH tuvo un valor semanal mínimo de 6.94 y semanal máximo de 8.23 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH semanal promedio de 7.52 durante estas 22 semanas.

Luego, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente para la muestra del Punto B:

Durante el otoño el pH tuvo un valor semanal mínimo de 7.78 y semanal máximo de 8.23. Siendo el pH semanal promedio de 8.09 durante estas 5 semanas. Luego, durante el invierno el pH tuvo un valor semanal mínimo de 7.03 y semanal máximo de 7.81. Siendo el pH semanal promedio de 7.46 durante estas 12 semanas. Y finalmente, durante la primavera el pH tuvo un valor semanal mínimo de 6.94 y semanal máximo de 7.30. Siendo el pH semanal promedio de 7.11 durante estas 5 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, el pH tuvo un valor semanal mínimo de 6.65 y semanal máximo de 8.33 durante todo el periodo de evaluación. Siendo el pH semanal promedio de 7.45 durante estas 22 semanas.

Luego, clasificando el periodo de evaluación de acuerdo a las estaciones del año (Ver Cuadro N° 6.12) se observa lo siguiente para la muestra del Punto C:

Durante el otoño el pH tuvo un valor semanal mínimo de 7.70 y semanal máximo de 8.33. Siendo el pH semanal promedio de 8.09 durante estas 5 semanas. Luego, durante el invierno el pH tuvo un valor semanal mínimo de 7.04 y semanal máximo de 7.78. Siendo el pH semanal promedio de 7.43 durante estas 12 semanas. Y finalmente, durante la primavera el pH tuvo un valor semanal mínimo de 6.65 y semanal máximo de 7.11. Siendo el pH semanal promedio de 6.84 durante estas 5 semanas.

#### D) TURBIEDAD

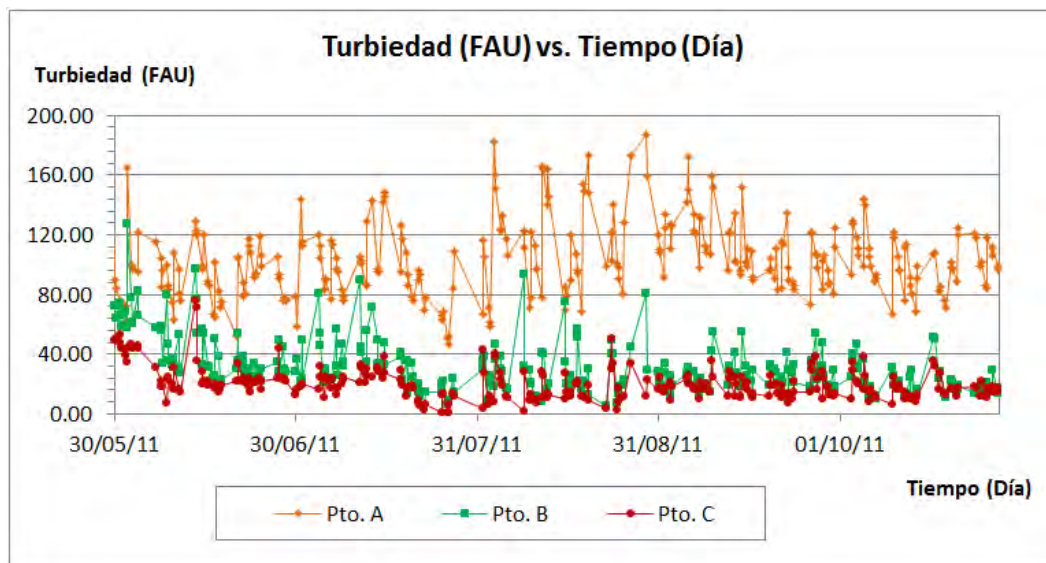
De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 5 - Sección 5.5, las muestras para la determinación de la turbiedad fueron tomadas en tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:

Los resultados de la **medición diaria** (Ver Gráfico N° 6.11) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la turbiedad tuvo un valor mínimo de 47.00 FAU y máximo de 187.00 FAU durante todo el periodo de evaluación. Siendo la turbiedad promedio de 103.44 FAU durante estas 22 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B, la turbiedad tuvo un valor mínimo de 5.00 FAU y máximo de 127.00 FAU durante todo el periodo de evaluación. Siendo la turbiedad promedio de 31.22 FAU durante estas 22 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la turbiedad tuvo un valor mínimo de 1.00 FAU y máximo de 76.00 FAU durante todo el periodo de evaluación. Siendo la turbiedad promedio de 20.14 FAU durante estas 22 semanas.





Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.11: Turbiedad vs. Tiempo (Medición Diaria)**

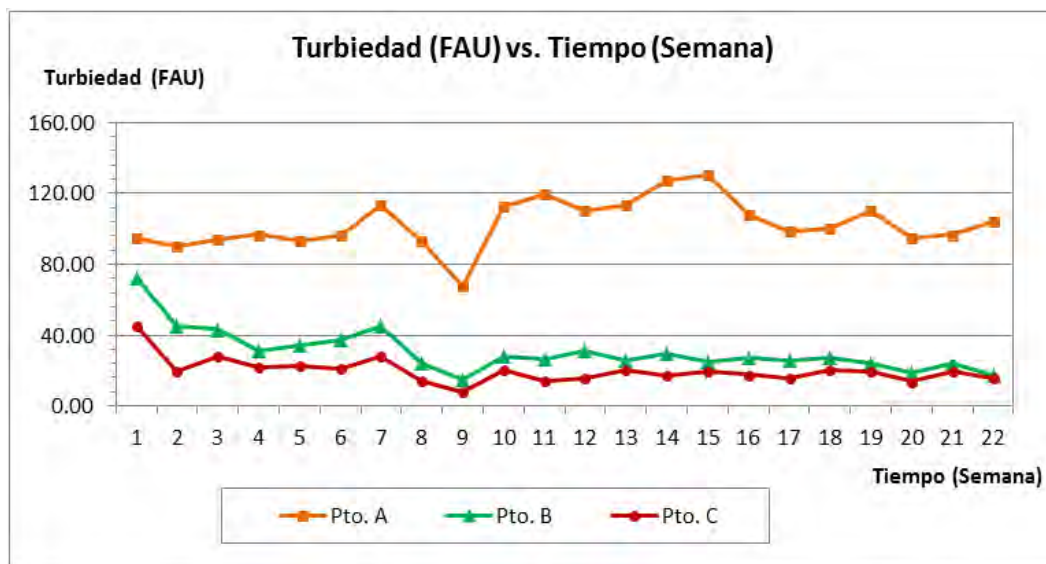
De los resultados de la medición diaria, se procedió a calcular el promedio de estas mediciones por semana de evaluación. Luego, los resultados de la **medición semanal promedio** (Ver Gráfico N° 6.12) indican lo siguiente:

Para el caso de la muestra del Punto A, la turbiedad tuvo un valor semanal mínimo de 67.50 FAU y semanal máximo de 130.27 FAU durante todo el periodo de evaluación. Siendo la turbiedad semanal promedio de 102.95 FAU durante estas 22 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B, la turbiedad tuvo un valor semanal mínimo de 15.00 FAU y semanal máximo de 72.07 FAU durante todo el periodo de evaluación. Siendo la turbiedad semanal promedio de 30.80 FAU durante estas 22 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la turbiedad tuvo un valor semanal mínimo de 7.75 FAU y semanal máximo de

45.29 FAU durante todo el periodo de evaluación. Siendo la turbiedad semanal promedio de 19.85 FAU durante estas 22 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.12: Turbiedad vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

## E) SÓLIDOS TOTALES

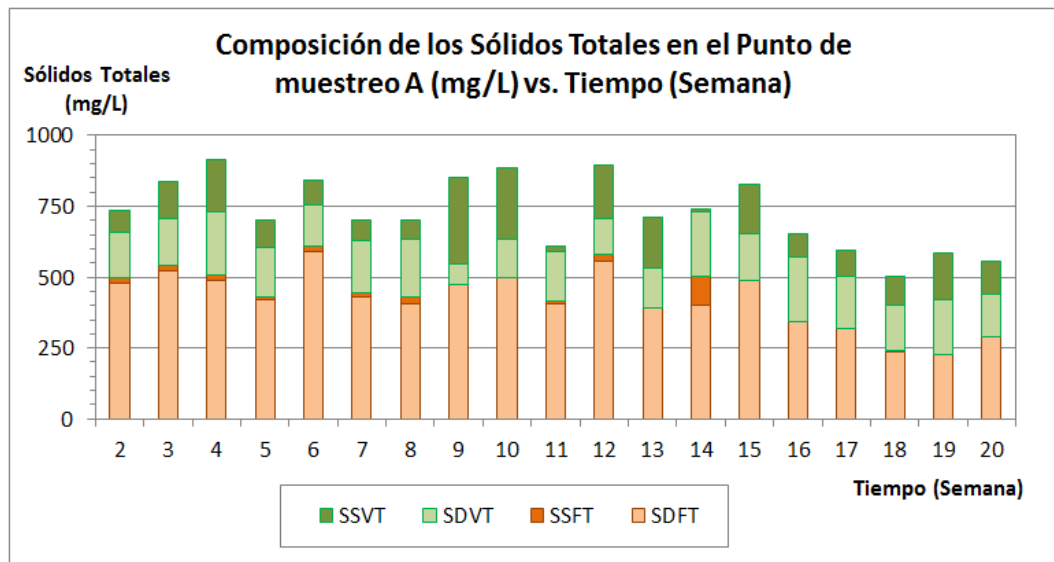
La composición de los sólidos totales (ST) incluye a los siguientes tipos de sólidos:

- Sólidos suspendidos volátiles totales (SSVT)
- Sólidos disueltos volátiles totales (SDVT)
- Sólidos suspendidos fijos totales (SSFT)
- Sólidos disueltos fijos totales (SDFT)

De donde:

- Sólidos Volátiles Totales (SVT) = SSVT + SDVT
- Sólidos Fijos Totales (SFT) = SSFT + SDFT
- Sólidos Disueltos Totales (SDT) = SDVT + SDFT
- Sólidos Suspendidos Totales (SST) = SSVT + SSFT

Para el caso de la muestra del Punto A (Ver Gráfico N° 6.13) se observa que los sólidos totales varían entre 504mg/L y 916mg/L, obteniéndose un valor promedio de 714mg/L a lo largo del periodo de evaluación. Luego, respecto a la composición de los sólidos totales en el punto de muestreo A, se observó que los SSVT representan en promedio el 15.87% de los ST de la muestra; los SDVT, el 25.10%; los SSFT, el 1.17% y los SDFT, el 57.86%.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

SSVT.- Sólidos suspendidos volátiles totales

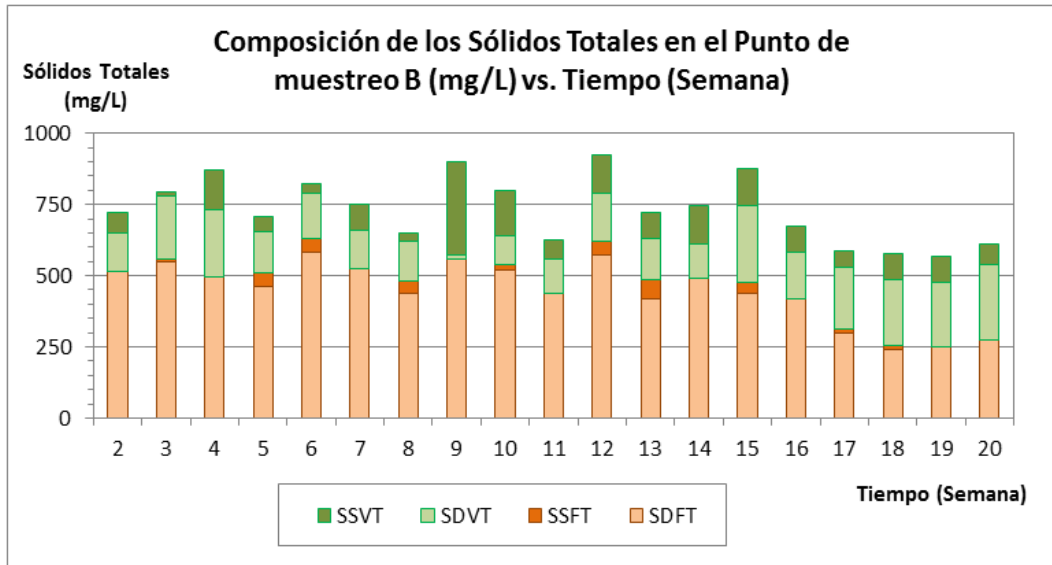
SDVT.- Sólidos disueltos volátiles totales

SSFT.- Sólidos suspendidos fijos totales

SDFT.- Sólidos disueltos fijos totales

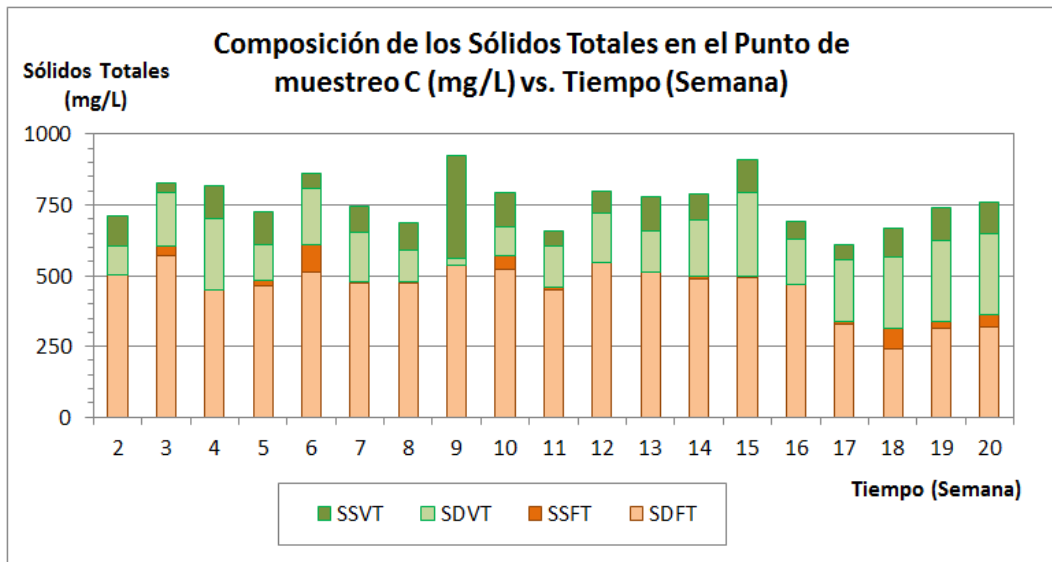
**Gráfico N° 6.13: Composición de los sólidos totales en el punto de muestreo A vs. Tiempo**

Para el caso de la muestra del Punto B (Ver Gráfico N° 6.14) se observa que los sólidos totales varían entre 568mg/L y 924mg/L, obteniéndose un valor promedio de 721mg/L a lo largo del periodo de evaluación. Luego, respecto a la composición de los sólidos totales en el punto de muestreo B, se observó que los SSVT representan en promedio el 13.03% de los ST de la muestra; los SDVT, el 24.67%; los SSFT, el 1.18% y los SDFT, el 61.12%.



Donde:  
 Punto B.- Ingreso al Reactor R2  
 SSVT.- Sólidos suspendidos volátiles totales  
 SDVT.- Sólidos disueltos volátiles totales  
 SSFT.- Sólidos suspendidos fijos totales  
 SDFT.- Sólidos disueltos fijos totales

**Gráfico N° 6.14: Composición de los sólidos totales en el punto de muestreo B vs. Tiempo**



Donde:  
 Punto C.- Salida del Sedimentador  
 SSVT.- Sólidos suspendidos volátiles totales  
 SDVT.- Sólidos disueltos volátiles totales  
 SSFT.- Sólidos suspendidos fijos totales  
 SDFT.- Sólidos disueltos fijos totales

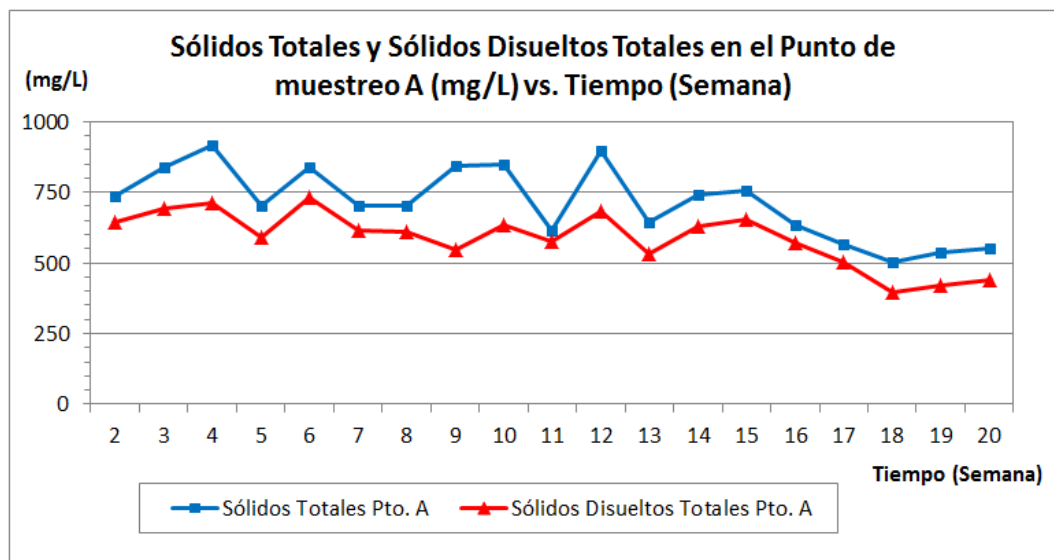
**Gráfico N° 6.15: Composición de los sólidos totales en el punto de muestreo C vs. Tiempo**

Para el caso de la muestra del Punto C (Ver Gráfico N° 6.15) se observa que los sólidos totales varían entre 608mg/L y 912mg/L, obteniéndose un valor promedio de 756mg/L a lo largo del periodo de evaluación. Luego, respecto a la composición de los sólidos totales en el punto de muestreo C, se observó que los SSVT representan en promedio el 13.99% de los ST de la muestra; los SDVT, el 23.60%; los SSFT, el 1.49% y los SDFT, el 60.92%.

## F) SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

Una vez identificada la composición de los sólidos totales en los puntos de muestreo, analizamos el comportamiento de los sólidos disueltos totales con respecto a los sólidos totales. Veamos:

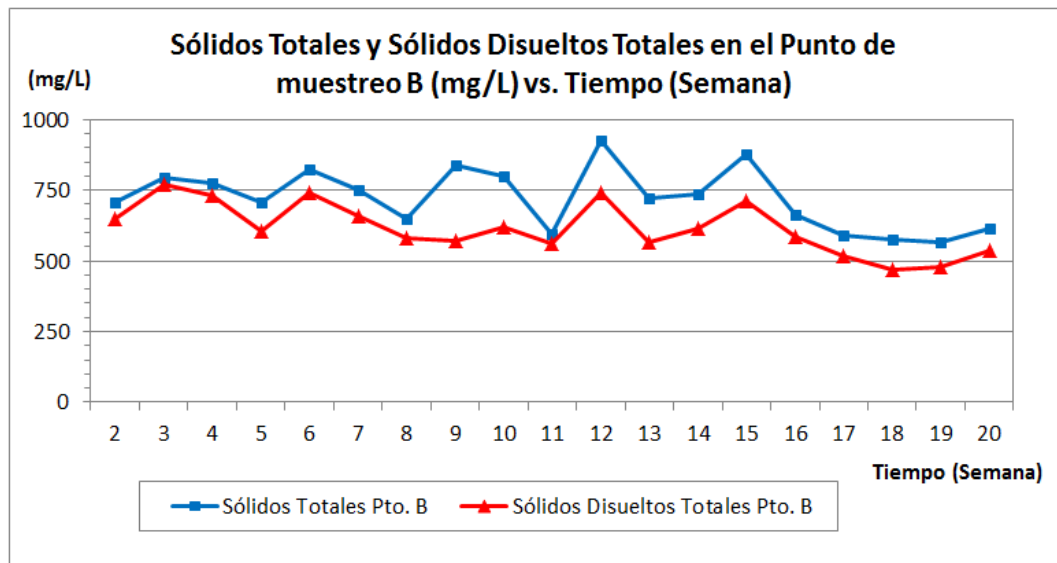
Para el caso de la muestra del Punto A (Ver Gráfico N° 6.16) se observa que los SDT representan en promedio el 82.40% de los ST de la muestra durante 20 semanas.



Donde:

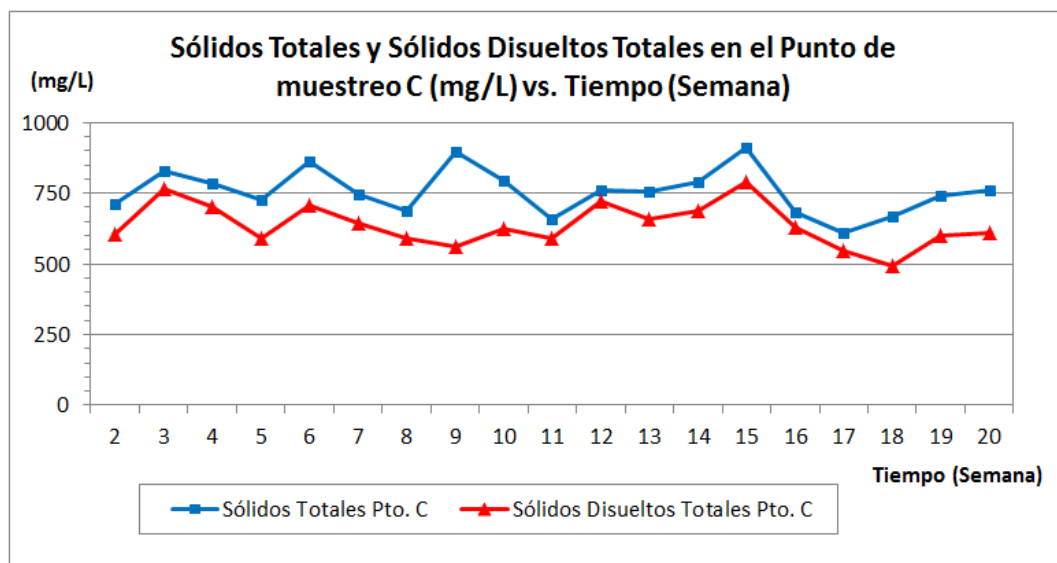
Punto A.- Ingreso al Reactor R1

**Gráfico N° 6.16: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en el punto de muestreo A vs. Tiempo**



Donde:  
Punto B.- Ingreso al Reactor R2

**Gráfico N° 6.17: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en el punto de muestreo B vs. Tiempo**



Donde:  
Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.18: Sólidos totales y sólidos disueltos totales en el punto de muestreo C vs. Tiempo**

Para el caso de la muestra del Punto B (Ver Gráfico N° 6.17) se observa que los SDT representan en promedio el 85.32% de los ST de la muestra durante 20 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto C (Ver Gráfico N° 6.18) se observa que los SDT representan en promedio el 84.27% de los ST de la muestra durante 20 semanas.

Luego, de las tres gráficas anteriores se observa que el punto de muestreo A obtiene como promedio de las 20 semanas de evaluación, una concentración de SDT de 588mg/L; mientras que para el punto de muestreo B, 615mg/L y para el punto de muestreo C, 637mg/L. Lo cual nos indica que no se da una remoción de este parámetro a lo largo del sistema DHS y por el contrario, se observa un incremento en su concentración.

#### **G) SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES**

Una vez identificada la composición de los sólidos totales en los puntos de muestreo, analizamos el comportamiento de los sólidos volátiles totales con respecto a los sólidos totales. Veamos:

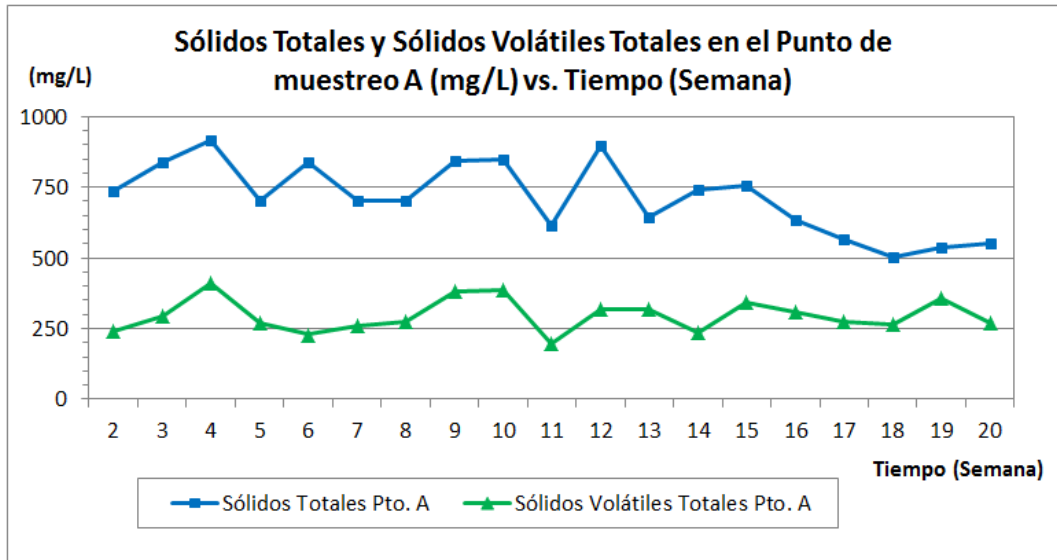
Para el caso de la muestra del Punto A (Ver Gráfico N° 6.19) se observa que los SVT representan en promedio el 41.42% de los ST de la muestra durante 20 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B (Ver Gráfico N° 6.20) se observa que los SVT representan en promedio el 37.04% de los ST de la muestra durante 20 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto C (Ver Gráfico N° 6.21) se observa que los SVT representan en promedio el 37.90% de los ST de la muestra durante 20 semanas.

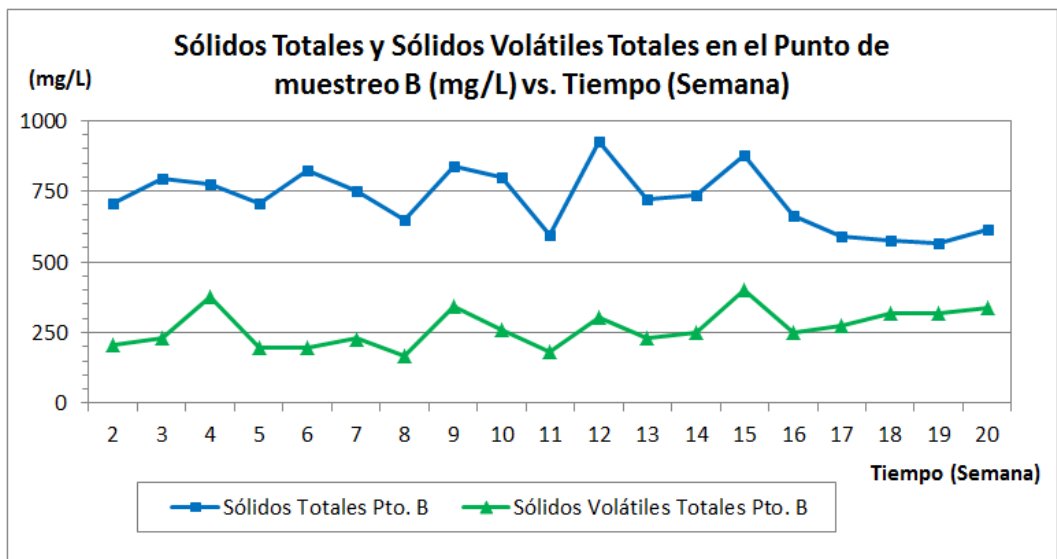
Luego, de las tres gráficas anteriores se observa que el punto de muestreo A obtiene como promedio de las 20 semanas de evaluación, una concentración de SVT de 296mg/L; mientras que para el punto de muestreo B, 267mg/L y para el punto de

muestreo C, 287mg/L. Lo cual nos indica que no se da una remoción de este parámetro a lo largo del sistema DHS y por el contrario, se observa un incremento en su concentración.



Donde:  
Punto A.- Ingreso al Reactor R1

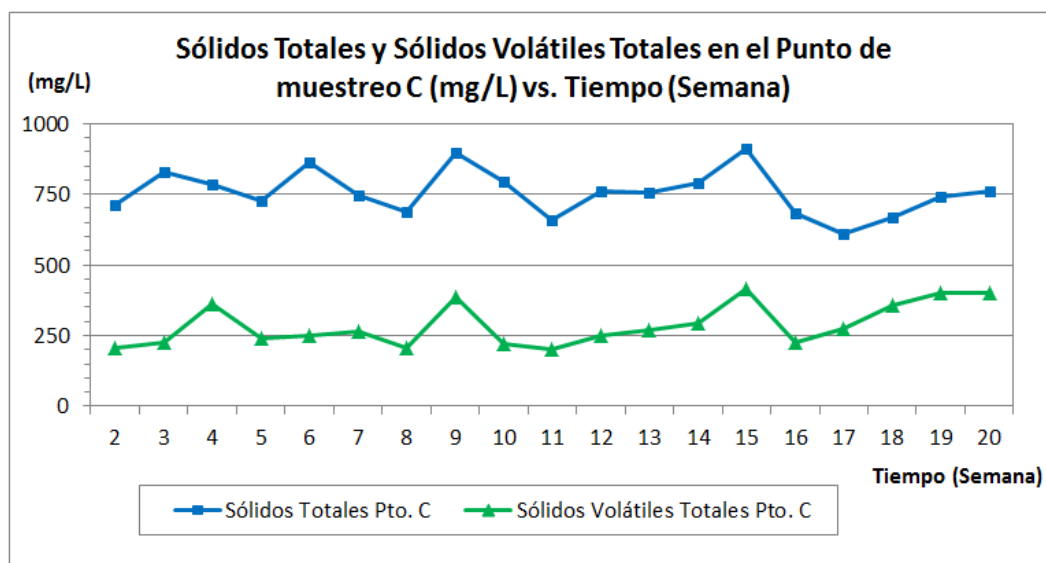
**Gráfico N° 6.19: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en el punto de muestreo A vs. Tiempo**



Donde:  
Punto B.- Ingreso al Reactor R2

**Gráfico N° 6.20: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en el punto de muestreo B vs. Tiempo**





Donde:

Punto C.- Salida del Sedimentador

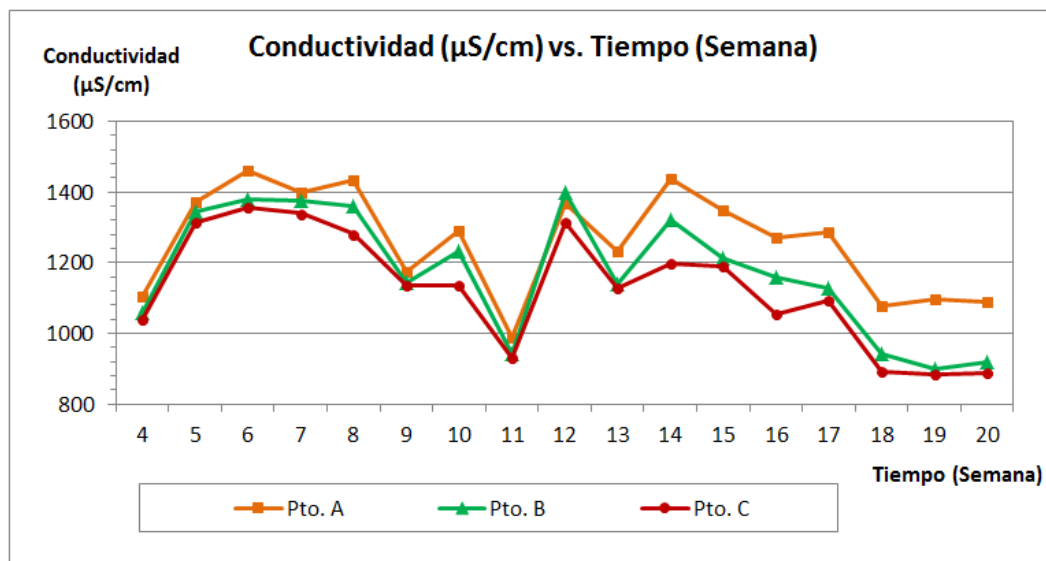
**Gráfico N° 6.21: Sólidos totales y sólidos volátiles totales en el punto de muestreo C vs. Tiempo**

## H) CONDUCTIVIDAD

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.22) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la conductividad tuvo un valor semanal mínimo de 989  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y semanal máximo de 1461  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante el periodo de evaluación. Siendo la conductividad semanal promedio de 1261  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante este periodo.

Para el caso de la muestra del Punto B, la conductividad tuvo un valor semanal mínimo de 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y semanal máximo de 1398  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante el periodo de evaluación. Siendo la conductividad semanal promedio de 1174  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante este periodo.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la conductividad tuvo un valor semanal mínimo de 885  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y semanal máximo de 1355  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante el periodo de evaluación. Siendo la conductividad semanal promedio de 1128  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante este periodo.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.22: Conductividad vs. Tiempo**

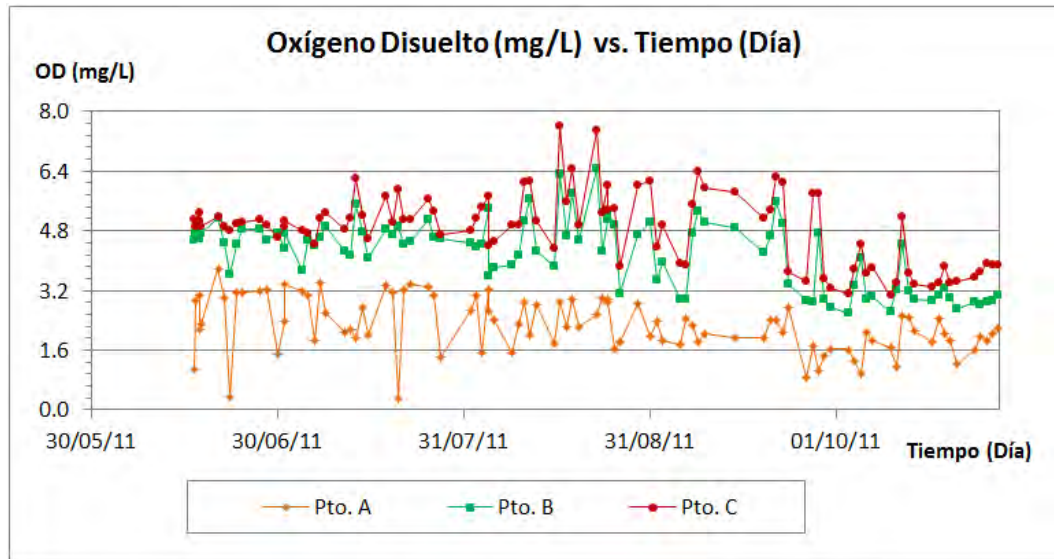
## I) OXÍGENO DISUELTTO

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 5 - Sección 5.5, las muestras para la determinación del oxígeno disuelto fueron tomadas en tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:

Los resultados de la **medición diaria** (Ver Gráfico N° 6.23) indican que para el caso de la muestra del Punto A, el oxígeno disuelto tuvo un valor mínimo de 0.30 mg/L y máximo de 3.76 mg/L durante todo el periodo de evaluación. Siendo el oxígeno disuelto promedio de 2.27 mg/L durante estas 20 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B, el oxígeno disuelto tuvo un valor mínimo de 2.59 mg/L y máximo de 6.45 mg/L durante todo el periodo de evaluación. Siendo el oxígeno disuelto promedio de 4.21 mg/L durante estas 20 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, el oxígeno disuelto tuvo un valor mínimo de 3.09 mg/L y máximo de 7.61 mg/L durante todo el periodo de evaluación. Siendo el oxígeno disuelto promedio de 4.87 mg/L durante estas 20 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

### Gráfico N° 6.23: Oxígeno disuelto vs. Tiempo (Medición Diaria)

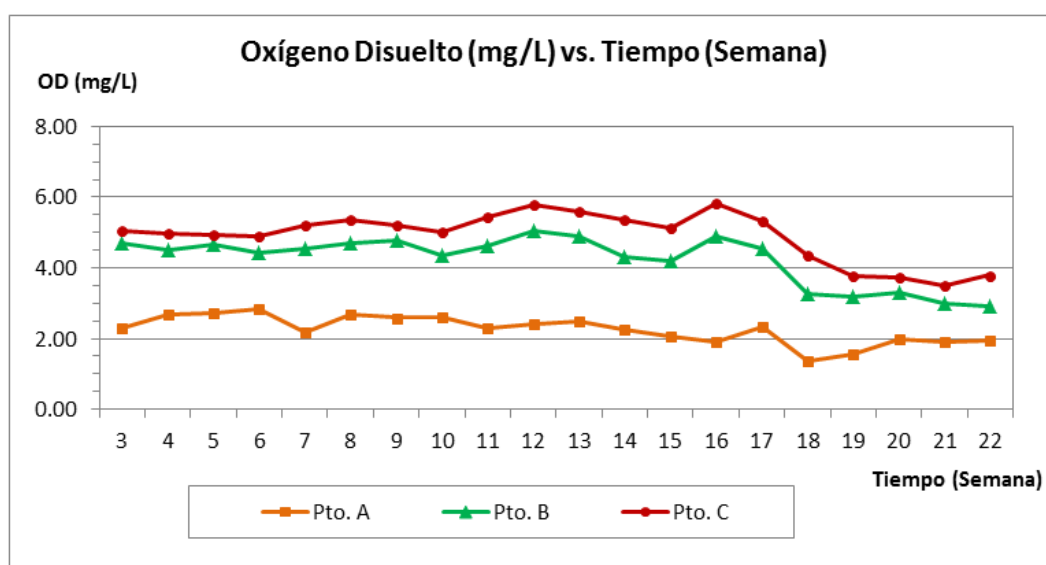
De los resultados de la medición diaria, se procedió a calcular el promedio de estas mediciones por semana de evaluación. Luego, los resultados de la **medición semanal promedio** (Ver Gráfico N° 6.24) indican lo siguiente:

Para el caso de la muestra del Punto A, el oxígeno disuelto tuvo un valor semanal mínimo de 1.34 mg/L y semanal máximo de 2.82 mg/L durante todo el periodo de evaluación. Siendo el oxígeno disuelto semanal promedio de 2.25 mg/L durante estas 20 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B, el oxígeno disuelto tuvo un valor semanal mínimo de 2.91 mg/L y semanal máximo de 5.03 mg/L durante todo el periodo de evaluación.

Siendo el oxígeno disuelto semanal promedio de 4.24 mg/L durante estas 20 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, el oxígeno disuelto tuvo un valor semanal mínimo de 3.48 mg/L y semanal máximo de 5.82 mg/L durante todo el periodo de evaluación. Siendo el oxígeno disuelto semanal promedio de 4.91 mg/L durante estas 20 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.24: Oxígeno disuelto vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

## J) DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

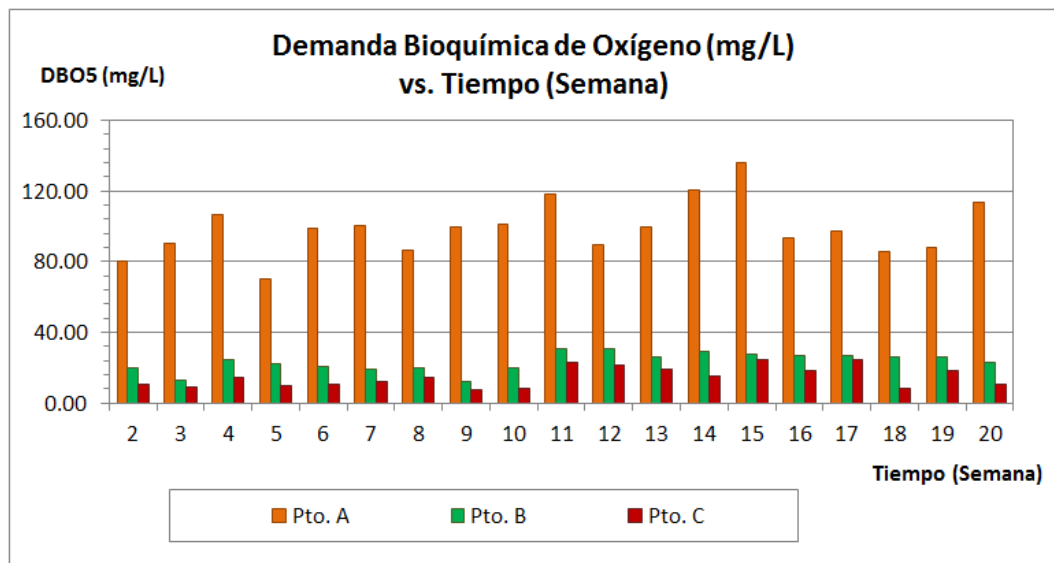
De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 5 - Sección 5.5, las muestras para la determinación del oxígeno disuelto fueron tomadas en tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.25) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la  $DBO_5$  tuvo un valor semanal mínimo de 69.92 mg/L y semanal

máximo de 136.42 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la  $DBO_5$  semanal promedio de 98.82 mg/L durante estas 19 semanas.

Para el caso de la muestra del Punto B, la  $DBO_5$  tuvo un valor semanal mínimo de 12.00 mg/L y semanal máximo de 30.84 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la  $DBO_5$  semanal promedio de 23.36 mg/L durante estas 19 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la  $DBO_5$  tuvo un valor semanal mínimo de 7.50 mg/L y semanal máximo de 24.68 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la  $DBO_5$  semanal promedio de 14.89 mg/L durante estas 19 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

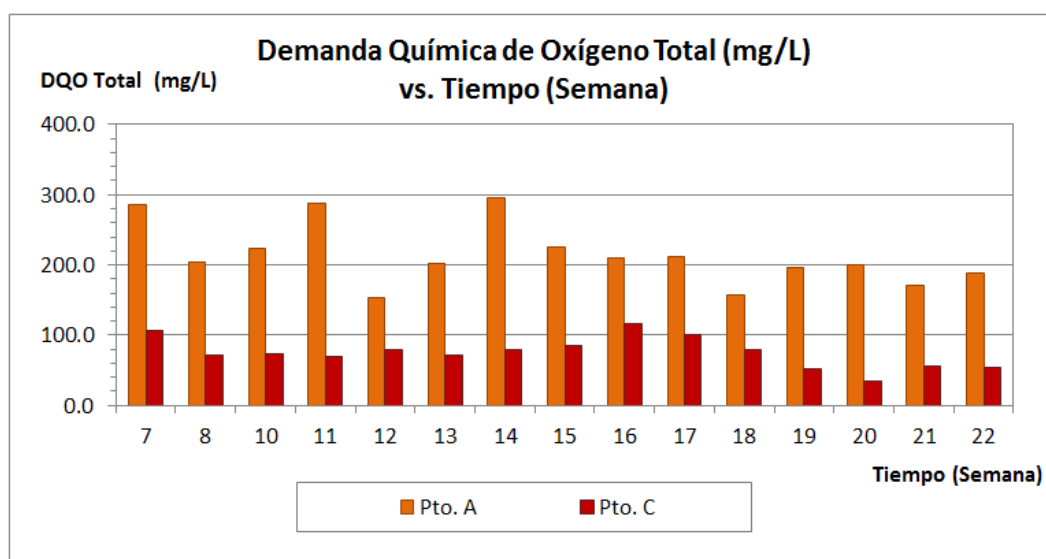
**Gráfico N° 6.25: Demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) vs. Tiempo**

### K) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL

La demanda química de oxígeno total ( $DQO_{Total}$ ) fue medida una vez a la semana al ingreso del reactor R1 y a la salida del sedimentador durante 15 semanas del periodo de evaluación.

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.26) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la DQO total tuvo un valor semanal mínimo de 153.0 mg/L y semanal máximo de 295.0 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO total promedio de 214.1 mg/L durante estas 15 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la DQO total tuvo un valor semanal mínimo de 35.0 mg/L y semanal máximo de 116.0 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO total promedio de 75.5 mg/L durante estas 15 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto C.- Salida del Sedimentador

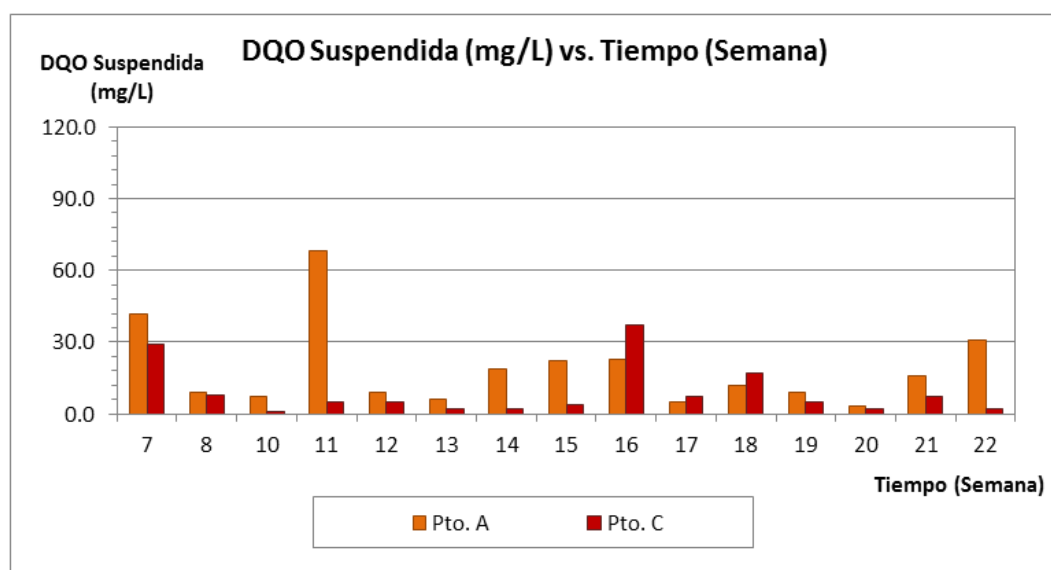
**Gráfico N° 6.26: Demanda química de oxígeno total (DQO<sub>TOTAL</sub>) vs. Tiempo**

## L) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SUSPENDIDA

La demanda química de oxígeno suspendida (DQO<sub>Suspendida</sub>) forma parte de la demanda química de oxígeno total y fue medida una vez a la semana al ingreso del reactor R1 y a la salida del sedimentador durante 15 semanas del periodo de evaluación.

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.27) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la DQO suspendida tuvo un valor semanal mínimo de 3.0 mg/L y semanal máximo de 68.0 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO suspendida promedio de 18.7 mg/L durante estas 15 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la DQO suspendida tuvo un valor semanal mínimo de 1.0 mg/L y semanal máximo de 37 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO suspendida promedio de 8.9 mg/L durante estas 15 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto C.- Salida del Sedimentador

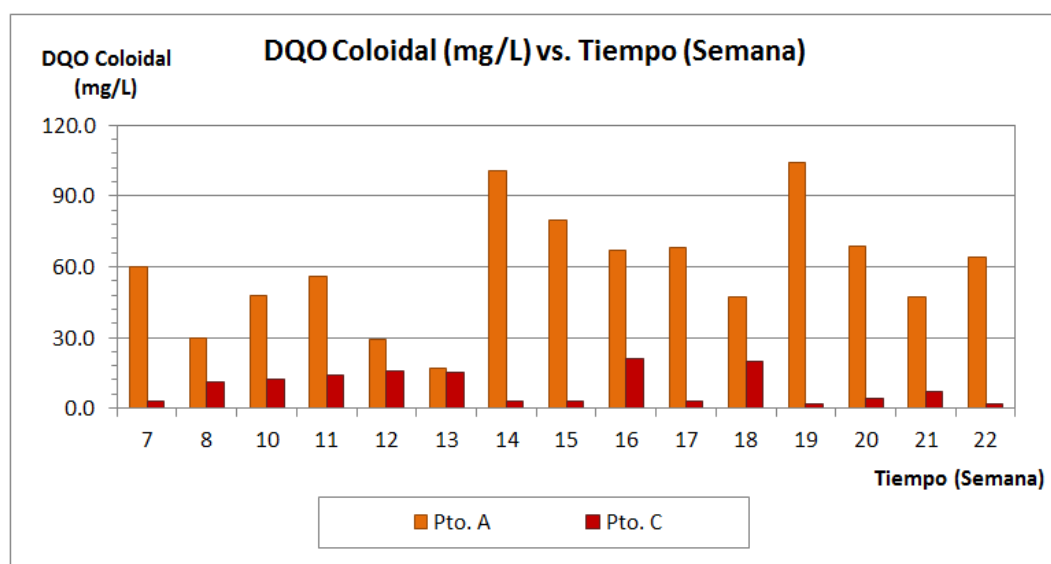
**Gráfico N° 6.27: Demanda química de oxígeno suspendida (DQO<sub>SUSPENDIDA</sub>) vs. Tiempo**

### M) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COLOIDAL

La demanda química de oxígeno coloidal (DQO<sub>Coloidal</sub>) forma parte de la demanda química de oxígeno total y fue medida una vez a la semana al ingreso del reactor R1 y a la salida del sedimentador durante 15 semanas del periodo de evaluación.

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.28) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la DQO coloidal tuvo un valor semanal mínimo de 17.0 mg/L y semanal máximo de 104.0 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO coloidal promedio de 59.1 mg/L durante estas 15 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la DQO coloidal tuvo un valor semanal mínimo de 2.0 mg/L y semanal máximo de 21 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO coloidal promedio de 9.1 mg/L durante estas 15 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.28: Demanda química de oxígeno coloidal (DQO<sub>COLOIDAL</sub>) vs. Tiempo**

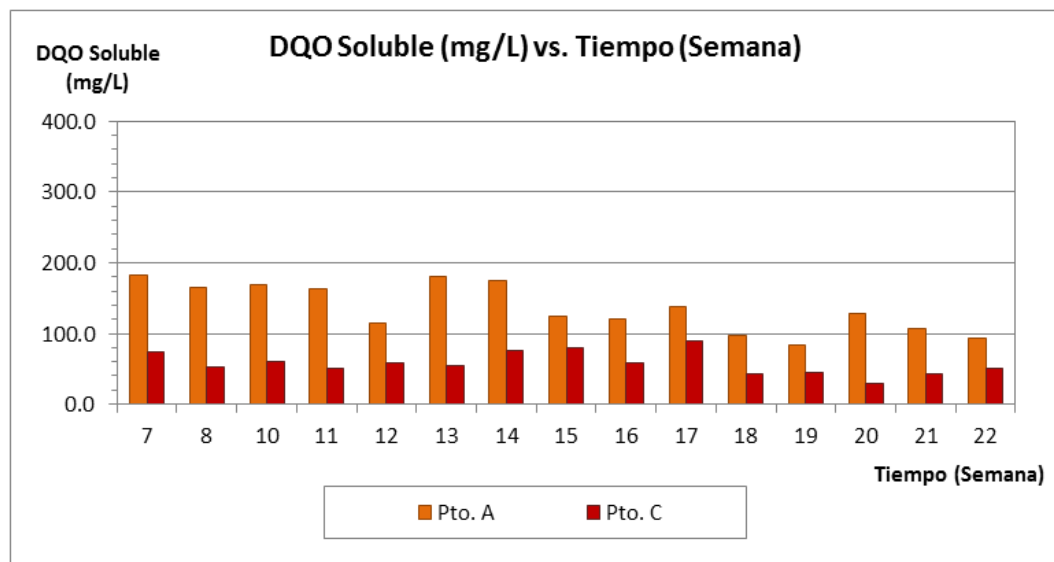
## N) DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE

La demanda química de oxígeno soluble (DQO<sub>Soluble</sub>) forma parte de la demanda química de oxígeno total y fue medida una vez a la semana al ingreso del reactor R1 y a la salida del sedimentador durante 15 semanas del periodo de evaluación.



Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.29) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la DQO soluble tuvo un valor semanal mínimo de 84.0 mg/L y semanal máximo de 183.0 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO soluble promedio de 136.2 mg/L durante estas 15 semanas.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la DQO soluble tuvo un valor semanal mínimo de 29 mg/L y semanal máximo de 90 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la DQO soluble promedio de 57.6 mg/L durante estas 15 semanas.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.29: Demanda química de oxígeno soluble (DQO<sub>SOLUBLE</sub>) vs. Tiempo**

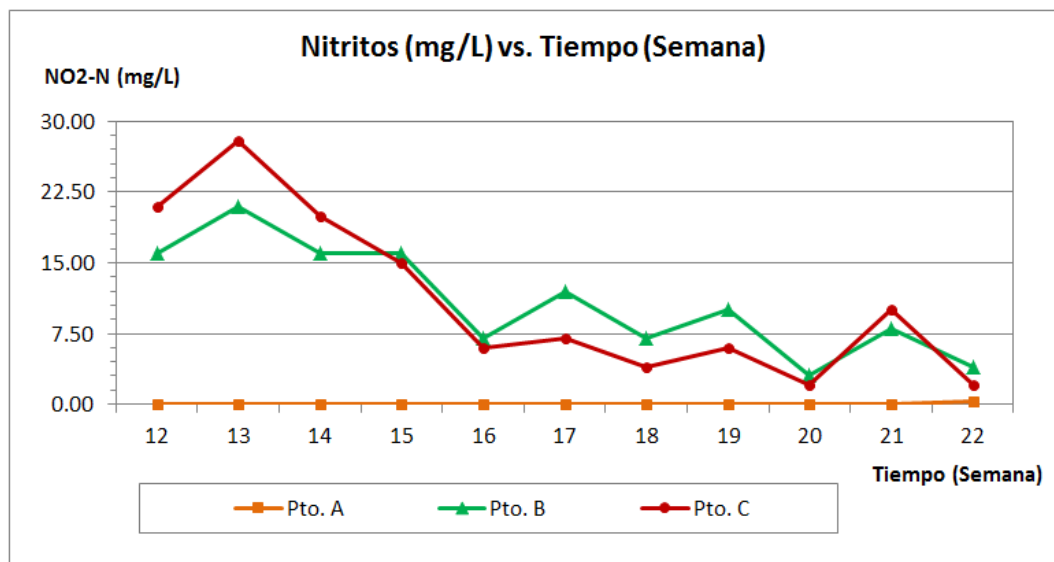
## O) NITRITOS

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 5 - Sección 5.5, las muestras para la determinación de la concentración de nitritos fueron tomadas en tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.30) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la concentración de  $\text{NO}_2\text{-N}$  tuvo un valor semanal mínimo de 0.006 mg/L y semanal máximo de 0.350 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración de  $\text{NO}_2\text{-N}$  promedio de 0.051 mg/L durante este periodo.

Para el caso de la muestra del Punto B, la concentración de  $\text{NO}_2\text{-N}$  tuvo un valor semanal mínimo de 3.00 mg/L y semanal máximo de 21.00 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración de  $\text{NO}_2\text{-N}$  promedio de 10.91 mg/L durante este periodo.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la concentración de  $\text{NO}_2\text{-N}$  tuvo un valor semanal mínimo de 2.00 mg/L y semanal máximo de 28.00 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración de  $\text{NO}_2\text{-N}$  promedio de 11.00 mg/L durante este periodo.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

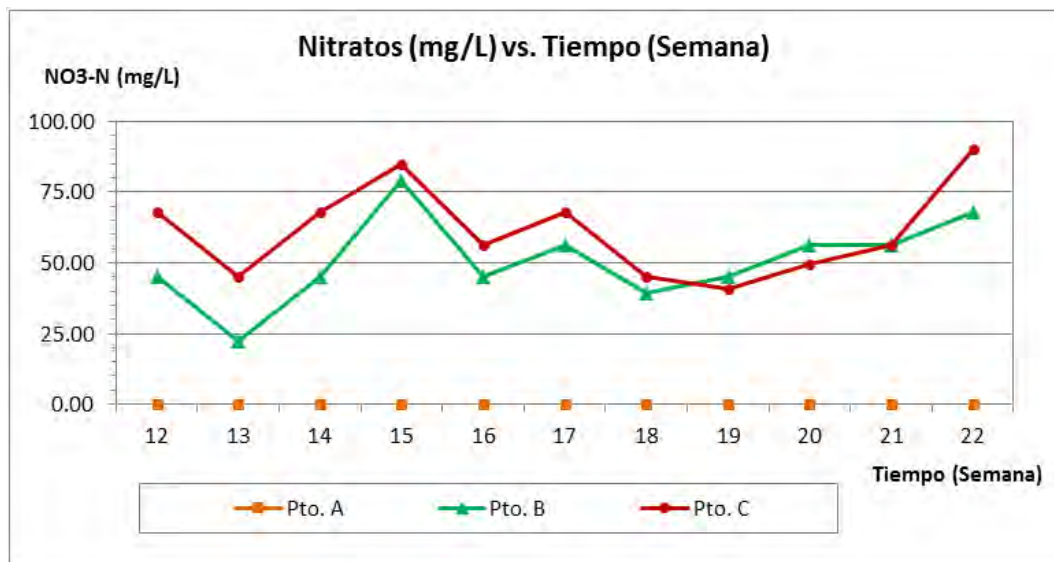
**Gráfico N° 6.30: Nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) vs. Tiempo**

## P) NITRATOS

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 5 - Sección 5.5, las muestras para la determinación de la concentración de nitratos fueron tomadas en tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.31) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la concentración de  $\text{NO}_3\text{-N}$  fue de 0 mg/L a lo largo de todas las semanas del periodo de evaluación. (Para mayor detalle ver Capítulo 7 - Discusión de resultados).

Para el caso de la muestra del Punto B, la concentración de  $\text{NO}_3\text{-N}$  tuvo un valor semanal mínimo de 22.58 mg/L y semanal máximo de 79.03 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración de  $\text{NO}_3\text{-N}$  promedio de 50.81 mg/L durante este periodo.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

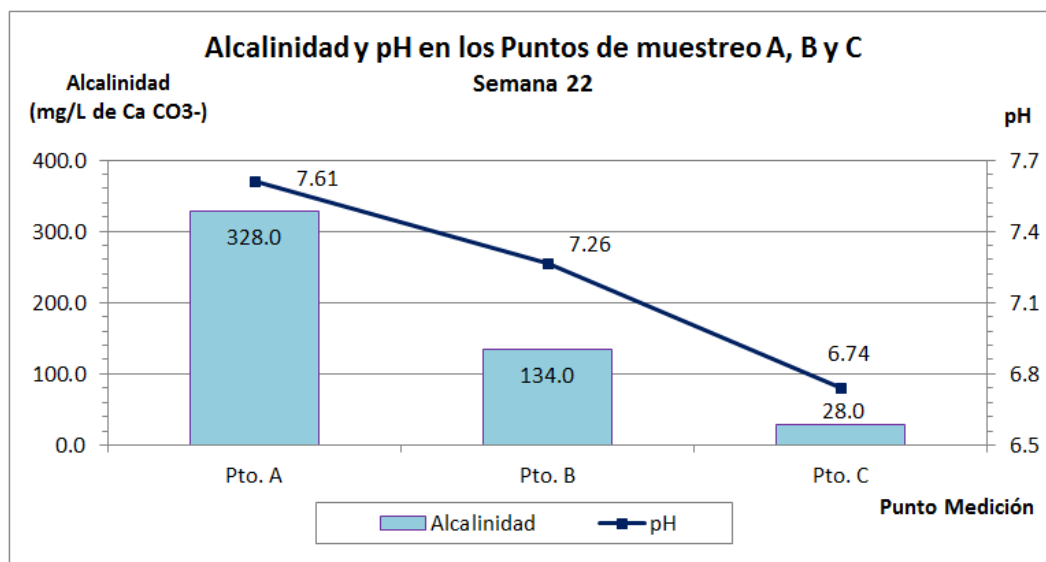
**Gráfico N° 6.31: Nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) vs. Tiempo**

Y para el caso de la muestra del Punto C, la concentración de  $\text{NO}_3\text{-N}$  tuvo un valor semanal mínimo de 40.65 mg/L y semanal máximo de 90.32 mg/L durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración de  $\text{NO}_3\text{-N}$  promedio de 61.07 mg/L durante este periodo.

### Q) ALCALINIDAD

La alcalinidad fue medida una sola vez durante el periodo de evaluación en la semana N° 22 y en los tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Los resultados obtenidos (Ver Gráfico N° 6.32) indicaron lo siguiente:

La alcalinidad hallada en los tres puntos de muestreo fue una alcalinidad al anaranjado de metilo. Y su concentración se debió sólo a la presencia de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) en las muestras.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.32: Alcalinidad y pH en los puntos de muestreo A, B y C durante la semana N°22 del periodo de evaluación**

No se obtuvo alcalinidad a la fenolftaleína en ninguna de las muestras y no se encontró la presencia de carbonatos ( $\text{CO}_3^-$ ), ni de hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) en las muestras.

El valor de alcalinidad encontrado para la muestra del punto A fue de 328 mg/L de  $\text{CaCO}_3^-$ , para la muestra del punto B fue de 134 mg/L de  $\text{CaCO}_3^-$  y para la muestra del punto C fue de 28 mg/L de  $\text{CaCO}_3^-$ . Además, los valores de pH encontrados en el sistema fueron disminuyendo su valor a lo largo de él. Siendo el pH encontrado para el punto de muestreo A, de 7.61; para el punto de muestreo B, de 7.26; y para el punto de muestreo C, de 6.74.

## R) CARGA ORGÁNICA

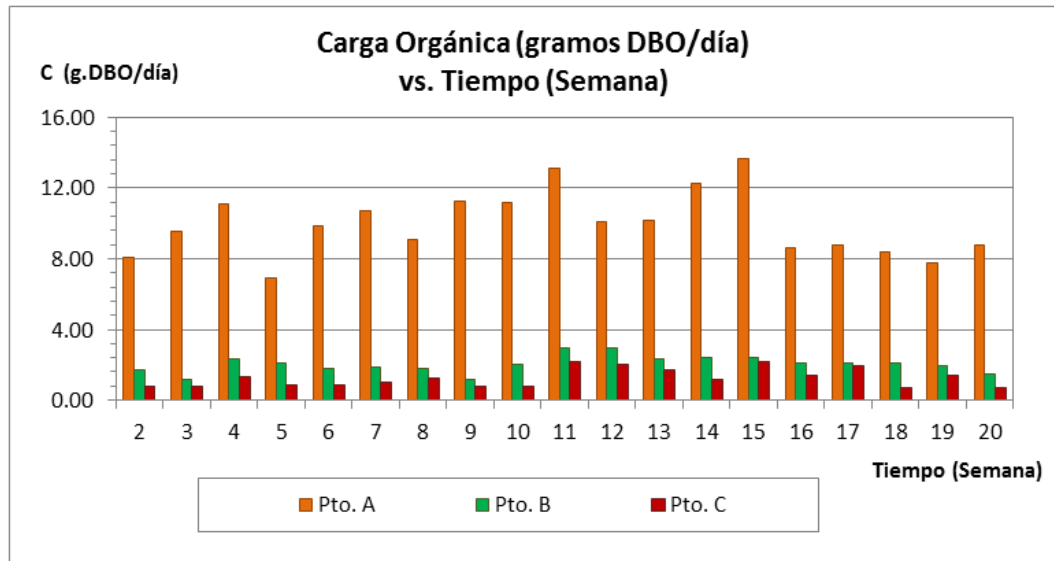
La carga orgánica (C) fue calculada utilizando los datos obtenidos de  $\text{DBO}_5$  y de caudal en los tres puntos de medición A, B y C. Para ello se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Carga} \left( \frac{\text{gramos DBO}}{\text{día}} \right) = Q \left( \frac{\text{L}}{\text{seg}} \right) \times \text{DBO} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \frac{86400}{1000}$$

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.33) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la carga orgánica tuvo un valor semanal mínimo de 6.92 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$  y semanal máximo de 13.63 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$  durante el periodo de evaluación. Siendo la carga orgánica semanal promedio de 9.97 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$  durante este periodo.

Para el caso de la muestra del Punto B, la carga orgánica tuvo un valor semanal mínimo de 1.18 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$  y semanal máximo de 2.99 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$  durante el periodo de evaluación. Siendo la carga orgánica semanal promedio de 2.05 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$  durante este periodo.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la carga orgánica tuvo un valor semanal mínimo de 0.67 gramos DBO/día y semanal máximo de 2.15 gramos DBO/día durante el periodo de evaluación. Siendo la carga orgánica semanal promedio de 1.26 gramos DBO/día durante este periodo.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

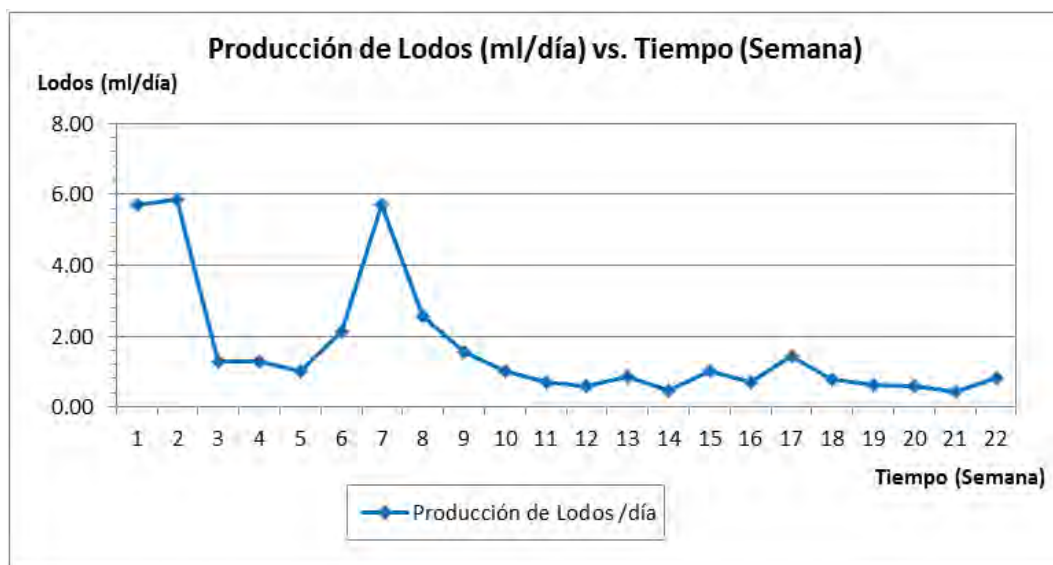
Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.33: Carga orgánica (C) vs. Tiempo**

## S) PRODUCCIÓN DE LODOS

Los resultados obtenidos de las mediciones semanales, fueron luego expresados en ml/día. (Ver Gráfico N° 6.34)

De la gráfica se observa que durante las semanas 1, 2, 6 y 7, la producción de lodos por día fue mayor a la producción promedio obtenida durante el periodo de evaluación, probablemente debido a la baja saturación de las esponjas durante las primeras semanas. Siendo la producción de lodos mínima de 0.43 ml/día, máxima de 5.86 ml/día y promedio de 1.69 ml/día durante el periodo de evaluación.



**Gráfico N° 6.34: Producción de lodos vs. Tiempo**

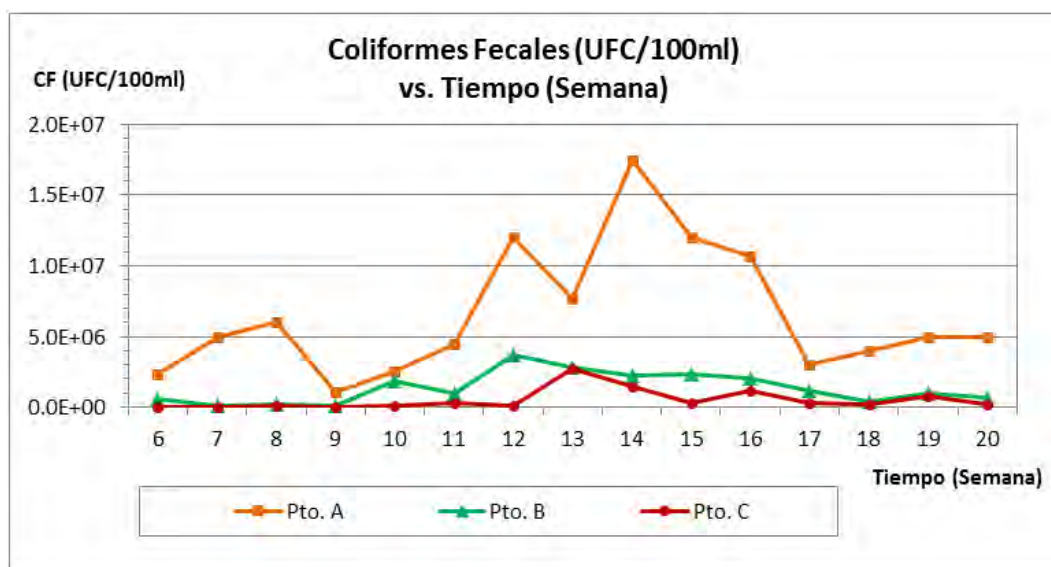
## T) COLIFORMES FECALES

La concentración de coliformes fecales fue medida una vez a la semana durante 15 semanas del periodo de evaluación. Las mediciones se realizaron en los tres puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C. Veamos:

Los resultados de la medición semanal (Ver Gráfico N° 6.35) indican que para el caso de la muestra del Punto A, la concentración de coliformes fecales tuvo un valor semanal mínimo de  $1.10 \times 10^6$  UFC/100ml y semanal máximo de  $1.85 \times 10^7$  UFC/100ml durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración semanal promedio de  $7.16 \times 10^6$  UFC/100ml durante este periodo.

Para el caso de la muestra del Punto B, la concentración de coliformes fecales tuvo un valor semanal mínimo de  $1.00 \times 10^5$  UFC/100ml y semanal máximo de  $6.85 \times 10^6$  UFC/100ml durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración semanal promedio de  $1.65 \times 10^6$  UFC/100ml durante este periodo.

Y para el caso de la muestra del Punto C, la concentración de coliformes fecales tuvo un valor semanal mínimo de  $1.75 \times 10^3$  UFC/100ml y semanal máximo de  $2.78 \times 10^6$  UFC/100ml durante el periodo de evaluación. Siendo la concentración semanal promedio de  $5.70 \times 10^5$  UFC/100ml durante este periodo.



Donde:

Punto A.- Ingreso al Reactor R1

Punto B.- Ingreso al Reactor R2

Punto C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 6.35: Coliformes fecales vs. Tiempo**

## 6.2.2 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN OBTENIDAS

Las eficiencias de remoción obtenidas en los diversos parámetros evaluados fueron calculadas en base a las mediciones semanales. Para ello fue necesario utilizar la información de los puntos de medición: Punto A, Punto B y Punto C.

Se calculó la **eficiencia del reactor R1**, evaluando los resultados de la calidad del afluente al sistema y del flujo a la salida del primer reactor. Es decir, se emplearon los resultados de los puntos de muestreo A y B.



Además, se calculó la **eficiencia del reactor R2**, evaluando los resultados de la calidad del flujo a la salida del primer reactor y del efluente del sistema en DHS en conjunto. Es decir, se emplearon los resultados de los puntos de muestreo B y C.

Y finalmente, se calculó la **eficiencia total del sistema DHS**, compuesto por el reactor R1 y el reactor R2, evaluando los resultados de la calidad del afluente y del efluente del sistema DHS. Es decir, se emplearon los resultados de los puntos de muestreo A y C.

Los resúmenes de las eficiencias obtenidas en cuanto a remoción de los distintos parámetros analizados durante el periodo de evaluación, se muestran a continuación en los siguientes cuadros, de acuerdo al N° de semana. (Ver Cuadro N° 6.13, N° 6.14 y N° 6.15).

Cuadro N° 6.13: Eficiencias del Reactor R1 en Remoción de Parámetros

Resumen de Eficiencias del Reactor R1 en Remoción de Parámetros													
Semana	Turbiedad (%)	Sólidos Totales (%)	Sólidos Disueltos Totales (%)	Sólidos Volátiles Totales (%)	Conductividad (%)	DBO <sub>5</sub> (%)	Carga Orgánica (%)	DQO TOTAL (%)	DQO SUSPENDIDA (%)	DQO COLOIDAL (%)	DQO SOLUBLE (%)	Alcalinidad (%)	Coliformes Fecales (%)
1	23.62%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	50.21%	3.80%	-0.62%	13.33%	-	75.38%	78.70%	-	-	-	-	-	-
3	54.18%	5.26%	-10.98%	21.62%	-	86.03%	87.55%	-	-	-	-	-	-
4	67.93%	15.28%	-2.81%	7.84%	4.25%	77.07%	79.16%	-	-	-	-	-	-
5	63.56%	-1.14%	-2.03%	26.87%	1.90%	67.59%	69.82%	-	-	-	-	-	-
6	61.17%	1.90%	-1.09%	14.04%	5.48%	78.97%	81.60%	-	-	-	-	-	75.60%
7	60.05%	-6.82%	-7.14%	12.31%	1.79%	80.73%	82.70%	-	-	-	-	-	97.80%
8	73.99%	7.95%	4.61%	38.24%	5.09%	77.36%	79.90%	-	-	-	-	-	96.67%
9	77.78%	0.95%	-4.38%	10.53%	2.64%	87.99%	89.57%	-	-	-	-	-	90.91%
10	75.24%	5.66%	1.90%	32.99%	4.65%	80.07%	82.22%	-	-	-	-	-	26.20%
11	77.86%	2.61%	2.78%	6.12%	4.65%	73.98%	77.24%	-	-	-	-	-	77.53%
12	71.83%	-3.13%	-8.19%	3.80%	-2.12%	66.09%	70.92%	-	-	-	-	-	69.17%
13	77.11%	-11.80%	-6.02%	27.50%	7.39%	74.08%	77.14%	-	-	-	-	-	63.40%
14	76.84%	0.54%	2.55%	-6.78%	8.27%	75.78%	80.02%	-	-	-	-	-	87.14%
15	81.01%	-15.87%	-9.20%	-17.65%	10.07%	79.97%	82.30%	-	-	-	-	-	80.42%
16	74.68%	-5.06%	-2.10%	18.18%	8.96%	71.49%	75.96%	-	-	-	-	-	81.25%
17	73.78%	-3.52%	-2.38%	0.00%	12.42%	72.46%	75.58%	-	-	-	-	-	60.00%
18	72.55%	-14.29%	-18.18%	-21.21%	12.62%	69.36%	74.59%	-	-	-	-	-	90.00%
19	78.01%	-5.97%	-13.33%	11.24%	18.03%	70.45%	74.59%	-	-	-	-	-	80.00%
20	80.55%	-10.87%	-21.82%	-25.37%	15.35%	79.69%	82.95%	-	-	-	-	-	86.00%
21	74.66%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	83.63%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59.15%	-
<b>Máximo</b>	<b>83.63%</b>	<b>15.28%</b>	<b>4.61%</b>	<b>38.24%</b>	<b>18.03%</b>	<b>87.99%</b>	<b>89.57%</b>	-	-	-	-	<b>59.15%</b>	<b>97.80%</b>
<b>Mínimo</b>	<b>23.62%</b>	<b>-15.87%</b>	<b>-21.82%</b>	<b>-25.37%</b>	<b>-2.12%</b>	<b>66.09%</b>	<b>69.82%</b>	-	-	-	-	<b>59.15%</b>	<b>26.20%</b>
<b>Promedio</b>	<b>69.55%</b>	<b>-1.82%</b>	<b>-5.18%</b>	<b>9.14%</b>	<b>7.14%</b>	<b>76.03%</b>	<b>79.08%</b>	-	-	-	-	<b>59.15%</b>	<b>77.47%</b>

(-) No se realizaron las mediciones

Cuadro N° 6.14: Eficiencias del Reactor R2 en Remoción de Parámetros

Resumen de Eficiencias del Reactor R2 en Remoción de Parámetros													
Semana	Turbiedad (%)	Sólidos Totales (%)	Sólidos Disueltos Totales (%)	Sólidos Volátiles Totales (%)	Conductividad (%)	DBO <sub>5</sub> (%)	Carga Orgánica (%)	DQO TOTAL (%)	DQO SUSPENDIDA (%)	DQO COLOIDAL (%)	DQO SOLUBLE (%)	Alcalinidad (%)	Coliformes Fecales (%)
1	37.17%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	55.67%	-0.56%	6.79%	0.00%	-	47.93%	56.18%	-	-	-	-	-	-
3	35.09%	-4.55%	0.52%	3.45%	-	28.67%	32.03%	-	-	-	-	-	-
4	29.46%	-1.03%	4.37%	3.19%	1.61%	40.82%	42.29%	-	-	-	-	-	-
5	33.87%	-2.26%	2.65%	-22.45%	2.23%	55.34%	57.18%	-	-	-	-	-	-
6	44.46%	-4.37%	4.32%	-26.53%	1.88%	46.89%	50.75%	-	-	-	-	-	99.12%
7	38.31%	1.06%	2.42%	-15.79%	2.55%	35.32%	43.16%	-	-	-	-	-	90.91%
8	41.72%	-6.17%	-1.38%	-23.81%	5.81%	24.47%	30.31%	-	-	-	-	-	67.50%
9	48.33%	-7.18%	2.10%	-14.12%	0.79%	37.50%	36.24%	-	-	-	-	-	98.25%
10	27.95%	1.00%	-0.65%	15.38%	7.72%	58.21%	59.52%	-	-	-	-	-	91.87%
11	47.84%	-10.74%	-5.71%	-8.70%	1.27%	25.52%	28.36%	-	-	-	-	-	70.00%
12	49.50%	17.75%	2.70%	17.11%	6.01%	28.93%	31.71%	-	-	-	-	-	96.76%
13	21.92%	-5.00%	-17.02%	-15.52%	0.96%	25.98%	27.28%	-	-	-	-	-	3.57%
14	41.36%	-7.07%	-12.42%	-15.87%	9.24%	47.36%	50.74%	-	-	-	-	-	33.33%
15	20.49%	-4.11%	-10.67%	-4.00%	2.06%	9.66%	11.04%	-	-	-	-	-	89.15%
16	36.01%	-3.01%	-7.53%	11.11%	8.89%	29.73%	30.68%	-	-	-	-	-	40.00%
17	39.28%	-3.40%	-6.20%	1.45%	2.93%	9.36%	8.82%	-	-	-	-	-	75.00%
18	26.33%	-15.97%	-5.13%	-11.25%	5.31%	67.94%	68.69%	-	-	-	-	-	43.75%
19	20.05%	-30.28%	-26.05%	-26.58%	1.67%	28.83%	29.73%	-	-	-	-	-	20.00%
20	25.99%	-24.18%	-13.43%	-19.05%	3.47%	53.04%	52.97%	-	-	-	-	-	71.43%
21	20.75%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	6.95%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79.10%	-
<b>Máximo</b>	<b>55.67%</b>	<b>17.75%</b>	<b>6.79%</b>	<b>17.11%</b>	<b>9.24%</b>	<b>67.94%</b>	<b>68.69%</b>	-	-	-	-	<b>79.10%</b>	<b>99.12%</b>
<b>Mínimo</b>	<b>6.95%</b>	<b>-30.28%</b>	<b>-26.05%</b>	<b>-26.58%</b>	<b>0.79%</b>	<b>9.36%</b>	<b>8.82%</b>	-	-	-	-	<b>79.10%</b>	<b>3.57%</b>
<b>Promedio</b>	<b>34.02%</b>	<b>-5.79%</b>	<b>-4.23%</b>	<b>-8.00%</b>	<b>3.79%</b>	<b>36.92%</b>	<b>39.35%</b>	-	-	-	-	<b>79.10%</b>	<b>66.04%</b>

(-) No se realizaron las mediciones

Cuadro N° 6.15: Eficiencias Totales del Sistema en Remoción de Parámetros

Resumen de Eficiencias Totales del Sistema en Remoción de Parámetros													
Semana	Turbiedad (%)	Sólidos Totales (%)	Sólidos Disueltos Totales (%)	Sólidos Volátiles Totales (%)	Conductividad (%)	DBO <sub>5</sub> (%)	Carga Orgánica (%)	DQO TOTAL (%)	DQO SUSPENDIDA (%)	DQO COLOIDAL (%)	DQO SOLUBLE (%)	Alcalinidad (%)	Coliformes Fecales (%)
1	52.01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	77.93%	3.26%	6.21%	13.33%	-	87.18%	90.67%	-	-	-	-	-	-
3	70.25%	0.96%	-10.40%	24.32%	-	90.03%	91.54%	-	-	-	-	-	-
4	77.38%	14.41%	1.69%	10.78%	5.79%	86.43%	87.97%	-	-	-	-	-	-
5	75.90%	-3.43%	0.68%	10.45%	4.08%	85.53%	87.08%	-	-	-	-	-	-
6	78.43%	-2.38%	3.28%	-8.77%	7.26%	88.83%	90.94%	-	-	-	-	-	99.79%
7	75.36%	-5.68%	-4.55%	-1.54%	4.29%	87.53%	90.17%	62.81%	30.95%	95.00%	59.56%	-	99.80%
8	84.84%	2.27%	3.29%	23.53%	10.61%	82.90%	85.99%	64.71%	11.11%	63.33%	67.88%	-	98.92%
9	88.52%	-6.16%	-2.19%	-2.11%	3.40%	92.49%	93.35%	-	-	-	-	-	99.84%
10	82.16%	6.60%	1.27%	43.30%	12.01%	91.67%	92.80%	66.82%	85.71%	75.00%	63.69%	-	94.00%
11	88.45%	-7.84%	-2.78%	-2.04%	5.86%	80.62%	83.69%	75.61%	92.65%	75.00%	68.71%	-	93.26%
12	85.77%	15.18%	-5.26%	20.25%	4.02%	75.90%	80.14%	47.71%	44.44%	44.83%	48.70%	-	99.00%
13	82.13%	-17.39%	-24.06%	16.25%	8.29%	80.81%	83.38%	64.53%	66.67%	11.76%	69.44%	-	64.71%
14	86.42%	-6.49%	-9.55%	-23.73%	16.75%	87.25%	90.16%	72.88%	89.47%	97.03%	57.14%	-	91.43%
15	84.90%	-20.63%	-20.86%	-22.35%	11.93%	81.91%	84.25%	61.95%	81.82%	96.25%	36.29%	-	97.88%
16	83.80%	-8.23%	-9.79%	27.27%	17.06%	79.97%	83.34%	44.76%	-60.87%	68.66%	51.67%	-	88.75%
17	84.08%	-7.04%	-8.73%	1.45%	14.98%	75.04%	77.74%	52.61%	-40.00%	95.59%	34.78%	-	90.00%
18	79.77%	-32.54%	-24.24%	-34.85%	17.25%	90.18%	92.04%	49.04%	-41.67%	57.45%	56.12%	-	94.38%
19	82.42%	-38.06%	-42.86%	-12.36%	19.40%	78.97%	82.15%	73.60%	44.44%	98.08%	46.43%	-	84.00%
20	85.60%	-37.68%	-38.18%	-49.25%	18.29%	90.46%	91.98%	82.59%	33.33%	94.20%	77.52%	-	96.00%
21	79.91%	-	-	-	-	-	-	67.06%	56.25%	85.11%	60.75%	-	-
22	84.76%	-	-	-	-	-	-	71.43%	93.55%	96.88%	46.81%	91.46%	-
<b>Máximo</b>	<b>88.52%</b>	<b>15.18%</b>	<b>6.21%</b>	<b>43.30%</b>	<b>19.40%</b>	<b>92.49%</b>	<b>93.35%</b>	<b>82.59%</b>	<b>93.55%</b>	<b>98.08%</b>	<b>77.52%</b>	<b>91.46%</b>	<b>99.84%</b>
<b>Mínimo</b>	<b>52.01%</b>	<b>-38.06%</b>	<b>-42.86%</b>	<b>-49.25%</b>	<b>3.40%</b>	<b>75.04%</b>	<b>77.74%</b>	<b>44.76%</b>	<b>-60.87%</b>	<b>11.76%</b>	<b>34.78%</b>	<b>91.46%</b>	<b>64.71%</b>
<b>Promedio</b>	<b>80.49%</b>	<b>-7.94%</b>	<b>-9.84%</b>	<b>1.79%</b>	<b>10.66%</b>	<b>84.93%</b>	<b>87.34%</b>	<b>63.87%</b>	<b>39.19%</b>	<b>76.94%</b>	<b>56.37%</b>	<b>91.46%</b>	<b>92.78%</b>

(-) No se realizaron las mediciones

### 6.3 RESULTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE MICROORGANISMOS

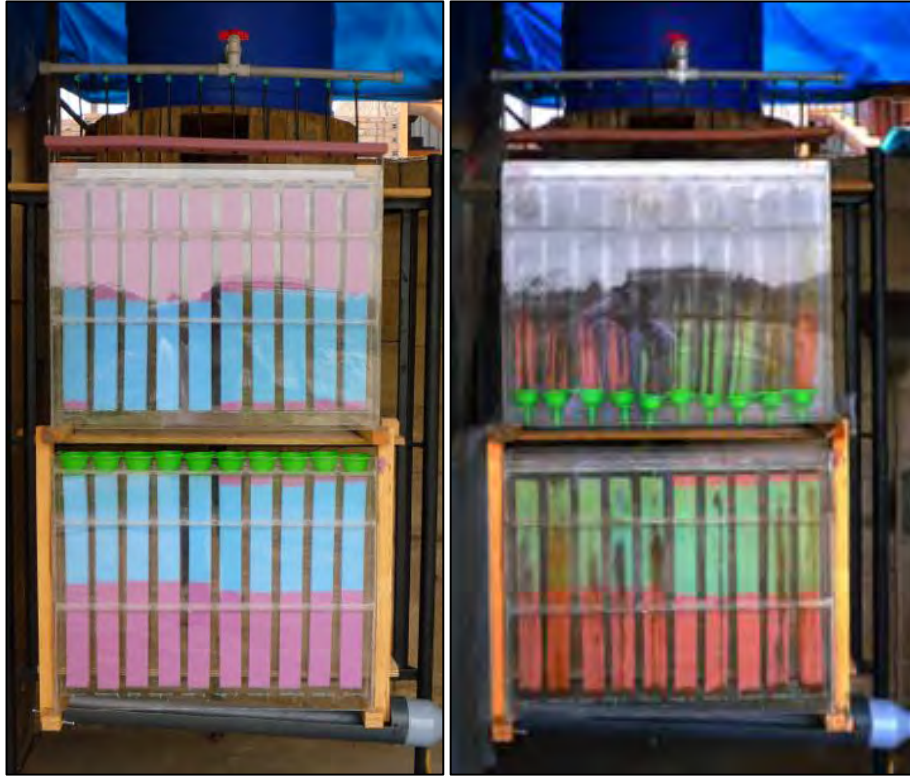
La identificación de microorganismos en el sistema DHS tipo bloques prismáticos se llevó a cabo durante las últimas semanas del periodo de evaluación, debido a que se esperó contar con una mayor población de microorganismos dentro de la biomasa formada en el material filtrante.

Es importante mencionar que el Reactor R1 adquirió mayor formación de biomasa que el Reactor R2 a lo largo del periodo de evaluación debido a que el afluente que ingresaba al reactor R1 contenía una carga orgánica mayor, en comparación a la que ingresaba al reactor R2.

Además se observó que el porcentaje de esponja mojada fue superior en el material filtrante del reactor R1, que en el de las esponjas del reactor R2. (Ver Fotografía N° 6.1 y N° 6.2).

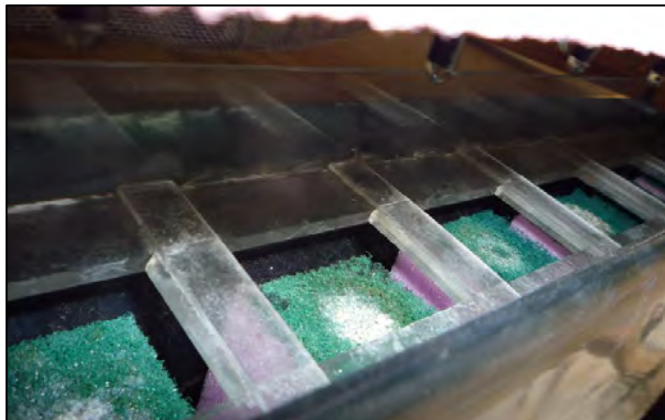


**Fotografía N° 6.1: Vista Lateral de la Formación de Biomasa en el Sistema DHS**



**Fotografía N° 6.2: Vista Frontal de la Formación de Biomasa en el Sistema DHS**

Por otro lado, se observó la acumulación de material grasoso en las esponjas verdes de fregar colocadas sobre el material filtrante (esponjas) de los reactores R1 y R2. Lo cual nos indica que éstas cumplieron su finalidad de evitar el ingreso de grasas al material filtrante y así, evitar su obstrucción y/o contaminación. (Ver Fotografía N° 6.3 y N° 6.4).

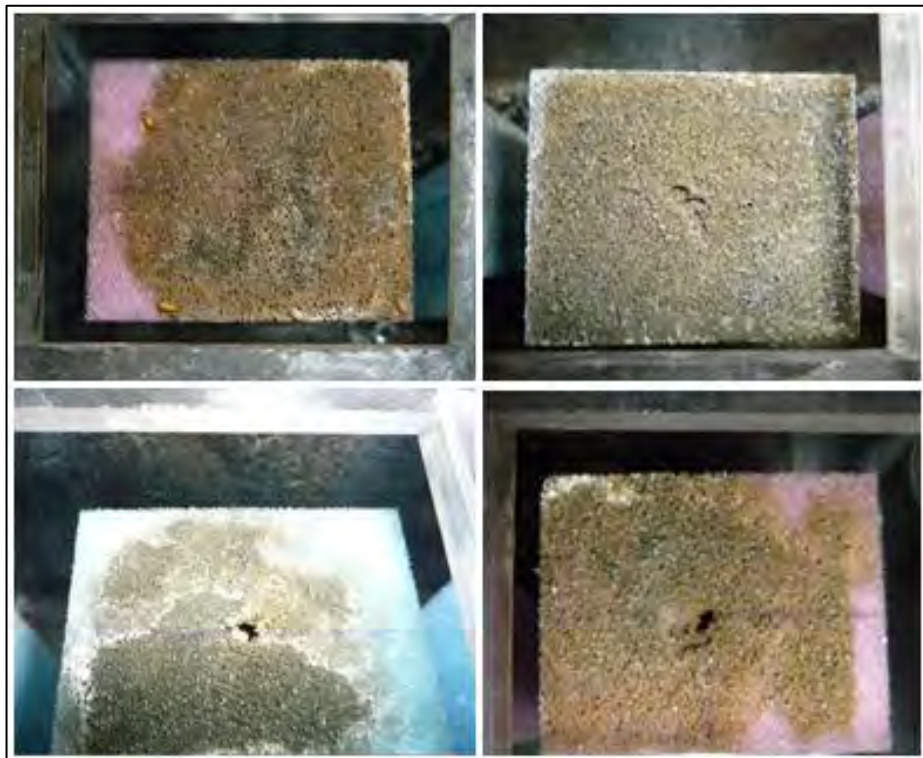


**Fotografía N° 6.3: Formación de Material Grasoso sobre las Esponjas Verdes de fregar**



**Fotografía N° 6.4: Detalle de Material Graso**

Luego, a medida que el periodo de evaluación iba avanzando, la formación de biomasa se iba incrementando con mayor incidencia sobre el material filtrante del reactor R1. Con lo que se observó una coloración verde-marrón sobre las esponjas y su posterior oscurecimiento. (Ver Fotografía N° 6.5).



**Fotografía N° 6.5: Coloración del Material Filtrante durante la Formación de Biomasa**

A medida que la formación de biomasa se iba incrementando, se observó la aparición huevos y larvas de dípteros sobre el material filtrante. (Ver Fotografía N° 6.6).



**Fotografía N° 6.6 Aparición de Huevos y Larvas de Dípteros sobre el Material Filtrante**

Como consecuencia de la aparición de los huevos y larvas de dípteros, se dio el desarrollo de estos organismos y con ello, la aparición de una mosca muy común en este tipo de sistemas de tratamiento, conocida como la mosca palomilla (*Psychoda* spp.). (Ver Fotografía N° 6.7).



**Fotografía N° 6.7 Mosca Palomilla (*Psychoda* spp.)**

Esta mosca en su estado adulto mide de 1.5 a 5 mm y su color es de marrón grisáceo a negro. La hembra adulta deposita sus huevos sobre



superficies o películas gelatinosas, y es por eso que es muy común en filtros percoladores y otros sistemas similares de tratamiento de aguas residuales.

Los huevos eclosionan a 21°C en 32 a 48 horas; el estadio larval dura 8 días, y el pupal 20 a 40 horas. El tiempo de desarrollo (huevo-adulto) es de 7 a 28 días, dependiendo de las condiciones.

La larva madura mide de 4 a 10 mm y presenta forma semicilíndrica, con la cabeza más angosta que el cuerpo. Además, la larva tiene la cabeza de color pálido y el cuerpo de color oscuro; se alimenta de algas, bacterias y hongos; y los adultos típicamente viven alrededor de 2 semanas.

En nuestro sistema DHS tipo bloque prismático a escala piloto se encontró esta especie en todos sus estados, por lo que fue posible su identificación. (Ver Fotografía N° 6.8).



**Fotografía N° 6.8 Estados de la especie Psychoda spp.**

Cabe mencionar que estas moscas fueron sólo una plaga molesta y no un peligro para los tesisistas, debido a que no poseen mayor significancia en la salud pública. No obstante, se tomaron medidas de exclusión, tales como mallas de plástico en las zonas de aireación de los reactores R1 y R2.

### 6.3.1 MICROORGANISMOS EN EL MATERIAL FILTRANTE

Para la identificación de microorganismos en el material filtrante de los reactores R1 y R2; primero fue necesario cortar una porción de esponja de cada reactor, luego hacer remojar estos pedazos en agua con la finalidad de liberar su biomasa, hacer sedimentar la muestra obtenida y finalmente analizarla en el microscopio.

Durante la realización de este procedimiento fue posible visualizar la coloración y composición del material filtrante en el microscopio (Ver Cuadro N° 6.16), además de liberar la biomasa del material filtrante e identificar algunas especies. (Ver Cuadro N° 6.17).

De la identificación, se encontró una mayor proporción de protozoarios en el material filtrante del Reactor R1 debido a que en este reactor se encuentra la mayor cantidad de carga orgánica. Aquí encontramos protozoos que pueden metabolizar tanto alimentos solubles como insolubles, reducir la concentración de bacterias y materia orgánica particular. Además de ayudar a que el efluente sea más claro y de mejor calidad. Son buenos indicadores directos de toxicidad, ya que son más sensibles a los tóxicos y a los cambios de oxígeno; por lo que se podrían utilizar como indicadores para el funcionamiento del sistema DHS.

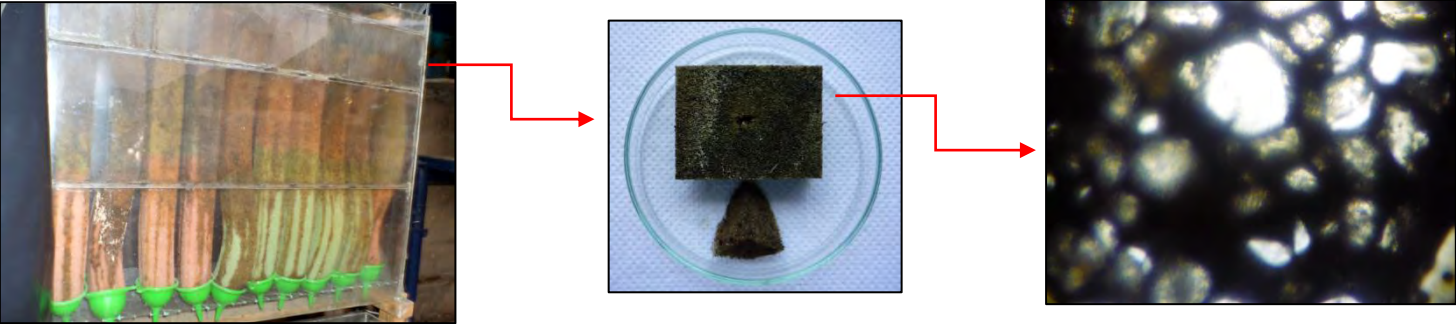
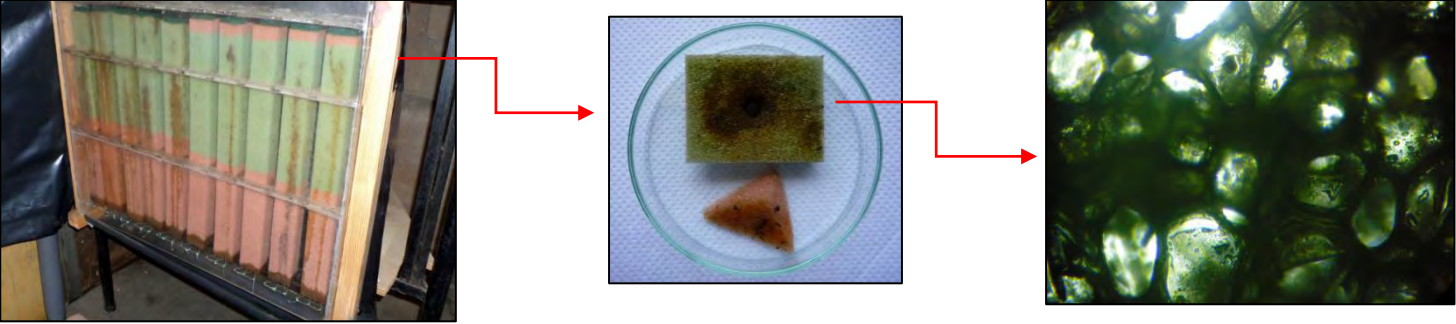
La ausencia de flagelados en este estudio nos confirma la buena eficiencia en remoción de  $DBO_5$  en las muestras de los puntos B y C. Los flagelados no son abundantes cuando el proceso funciona adecuadamente.

La presencia de protozoos ciliados es de gran importancia en el proceso, ya que contribuyen directamente a la clarificación del efluente a través de dos actividades, que son la floculación y la depredación, siendo esta última la más importante. La presencia de protozoos ciliados en estaciones depuradoras mejora la calidad

del efluente. Los ciliados se alimentan también de bacterias patógenas, por lo que contribuyen a la reducción de sus niveles.




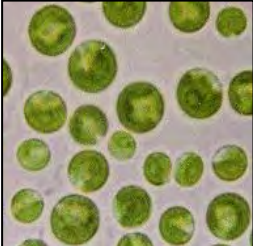
Con respecto a los rotíferos también se encontró una población grande, especialmente en el Reactor R1 y en el lodo del sedimentador, pero en menor proporción. La mayoría son móviles, se encuentran en sistemas con una buena estabilización y con oxígeno disuelto sobrante. Se encargan de metabolizar partículas sólidas y se alimentan de protozoos y bacterias. Contribuyen a la clarificación del efluente e indican tiempos de retención medios.

Cuadro N° 6.16: Composición del Material filtrante

Reactor	Composición del Material Filtrante
R1	
R2	

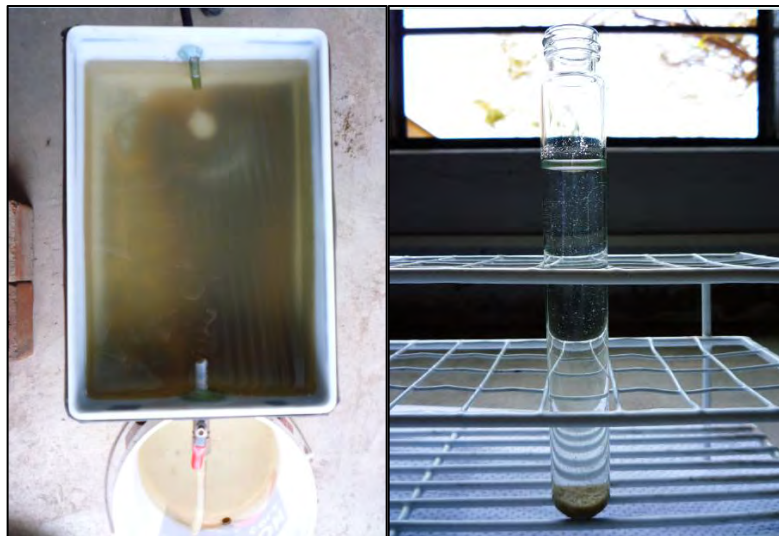
(Muestreo realizado durante la Semana N° 20 y 22 del periodo de evaluación).

Cuadro N° 6.17: Identificación de Microorganismos en el Material Filtrante

Grupo Taxológico	Especie	Fotografía	Observaciones
Ciliados	<i>Paramecium caudata</i>		Los paramecios son protozoos ciliados con forma ovalada, habituales en aguas dulces estancadas con abundante materia orgánica, como charcos y estanques. Son probablemente los seres unicelulares mejor conocidos y los protozoos ciliados más estudiados por la ciencia. El tamaño ordinario de todas las especies de paramecios es de apenas 0.5 milímetros. Carecen de flagelos, pero los cilios son muy abundantes y recubren toda su superficie. A ellos les corresponde proporcionar movimiento al organismo.
Rotíferos	<i>Philodina sp.</i>		Estos rotíferos tienen como principal característica, la excelente adaptación de la corona para provocar vórtices de agua, dirigiendo así, partículas de materia orgánica a su boca para poder alimentarse. Además, este individuo se caracteriza por presentar dos manchas oculares detrás del palpo dorsal, sobre el cerebro. La cutícula torácica es fina y lisa. El pié tiene cuatro dedos.
Dípteros	<i>Psychoda spp.</i>		Esta mosca en su estado adulto mide de 1.5 a 5 mm y su color es de marrón grisáceo a negro. La hembra adulta deposita sus huevos sobre superficies o películas gelatinosas, y es por eso que es muy común en filtros percoladores y otros sistemas similares de tratamiento de aguas residuales. Los huevos eclosionan a 21°C en 32 a 48 horas; el estadio larval dura 8 días, y el pupal 20 a 40 horas. El tiempo de desarrollo es de 7 a 28 días, dependiendo de las condiciones.
Algas	<i>Chlorella sp.</i>		Algas de forma esférica, miden de 2 a 10 µm de diámetro, y no poseen flagelos. La chlorella contiene los pigmentos verdes fotosintetizadores de la clorofila en su cloroplasto. A través de la fotosíntesis se multiplica rápidamente, requiriendo sólo dióxido de carbono, agua, luz solar y pequeñas cantidades de minerales. La chlorella crea problemas en los acuarios, haciendo que el agua se vuelva verde y opaca. Puede crecer fácilmente si hay altos niveles de nitratos y fosfatos o si recibe luz solar directa.

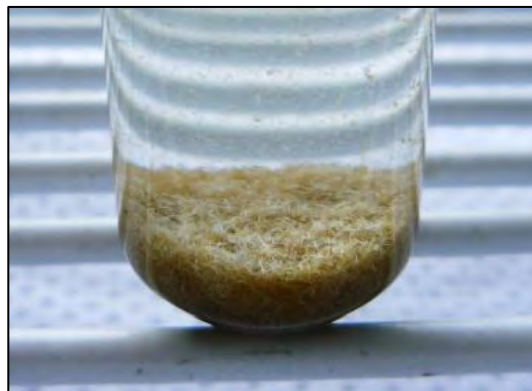
### 6.3.2 MICROORGANISMOS EN EL LODO

Para la identificación de microorganismos en el lodo fue necesario, primero hacer sedimentar el contenido de la unidad de sedimentación en un cono Imhoff, luego separar el lodo obtenido en un recipiente diferente, y finalmente analizarlo con el microscopio. (Ver Fotografía N° 6.9).



**Fotografía N° 6.9 Lodo Sedimentado**

Durante la realización del procedimiento para la identificación de microorganismos en el lodo, se pudo observar su consistencia pastosa y fibrosa. (Ver Fotografía N° 6.10).

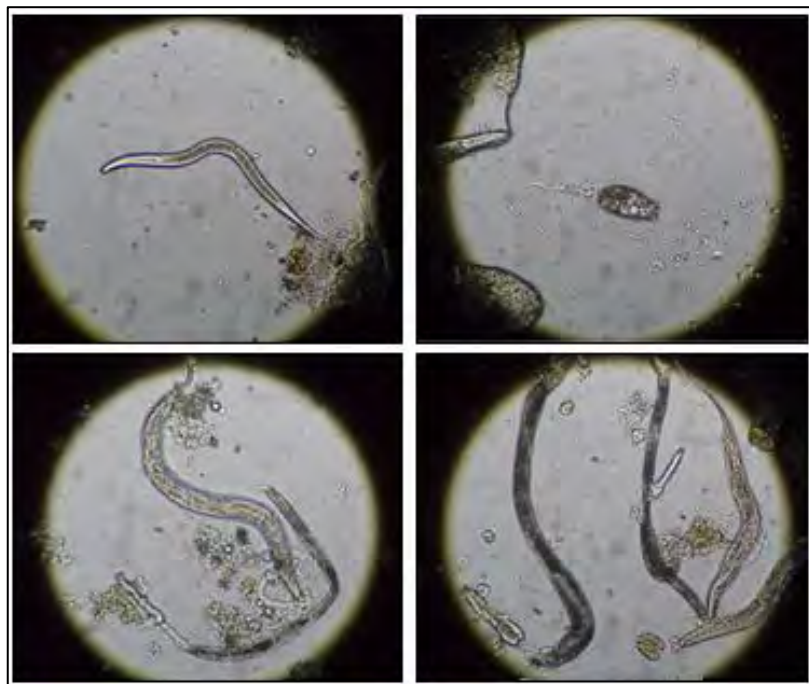


**Fotografía N° 6.10 Consistencia del Lodo Sedimentado**

Luego, durante el proceso de identificación, se pudo apreciar que el lodo del sistema DHS contenía en su mayoría diferentes especies de rotíferos y las larvas de los dípteros anteriormente señalados, *Psychoda spp.* (mosca palomilla).

La presencia de las larvas en este punto del sistema, posiblemente nos pueda indicar que el material filtrante se encuentra saturado de larvas también, por lo que sería recomendable realizar un lavado de las esponjas del material filtrante. (Ver Fotografía N° 6.11).


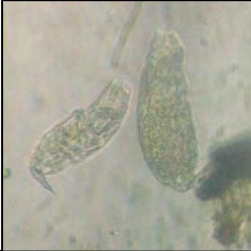


Siendo el sedimentador, el encargado de retener los posibles arrastres de biomasa del efluente del sistema DHS; se podría decir que éste cumplió su propósito. De no ser por esta unidad, el efluente del sistema tendría inconvenientes.



**Fotografía N° 6.11 Dípteros (Larva) y Rotíferos encontrados en el Lodo**

Además, fue posible analizar el lodo sedimentado e identificar algunas otras especies. (Ver Cuadro N° 6.18).

Cuadro N° 6.18: Identificación de Microorganismos en el Lodo

Grupo Taxológico	Especie	Fotografía	Observaciones
Rotíferos	<i>Rotaria sp.</i>		Este rotífero tiene la cutícula lisa, el palpo dorsal corto y el tronco adelgazado paulatinamente hacia el pié. Además, es opaco, a veces de color blanquecino. Su longitud media es de 200-500 micras, con un aparato apical de un filtro rotativo con el que el agua circundante. Tienen un aparato de masticación que tritura de forma continua. Se reproducen por partenogénesis predominantemente
Rotíferos	<i>Philodina sp.</i>		Estos rotíferos tienen como principal característica, la excelente adaptación de la corona para provocar vórtices de agua, dirigiendo así, partículas de materia orgánica a su boca para poder alimentarse. Además, este individuo se caracteriza por presentar dos manchas oculares detrás del palpo dorsal, sobre el cerebro. La cutícula torácica es fina y lisa. El pié tiene cuatro dedos.
Rotíferos	<i>Dicranophorus sp.</i>		Este tipo de rotíferos tienen una cutícula relativamente gruesa y rígida que da al animal una apariencia capsular. Sus huevos fertilizados se enquistan y crean formas de resistencia capaces de sobrevivir a períodos de desecación en los que el hábitat acuático desaparece por motivos estacionales. Al ser rehidratados emergen rápidamente como organismos con capacidad natatoria.
Ciliados	<i>Vorticella concavaria</i>		Es un microorganismo unicelular ciliado de agua dulce eutrofizada. Su cuerpo es de forma de campana, y se une al sustrato con su pedúnculo contráctil. Tiene el aparato oral con una corona de cilios, de varios estratos. Para su alimentación, forma una corriente de la cual puede extraer bacterias. Ocasionalmente, pueden contraer violentamente su cuerpo ante estímulos externos.



## CAPITULO 7

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se detalla el análisis y la discusión de los resultados obtenidos a lo largo de todo el periodo de evaluación; así como de las eficiencias de remoción obtenidas. Además se presenta una evaluación del cumplimiento del marco legal señalado en el Capítulo 2, Sección 2.7.1.

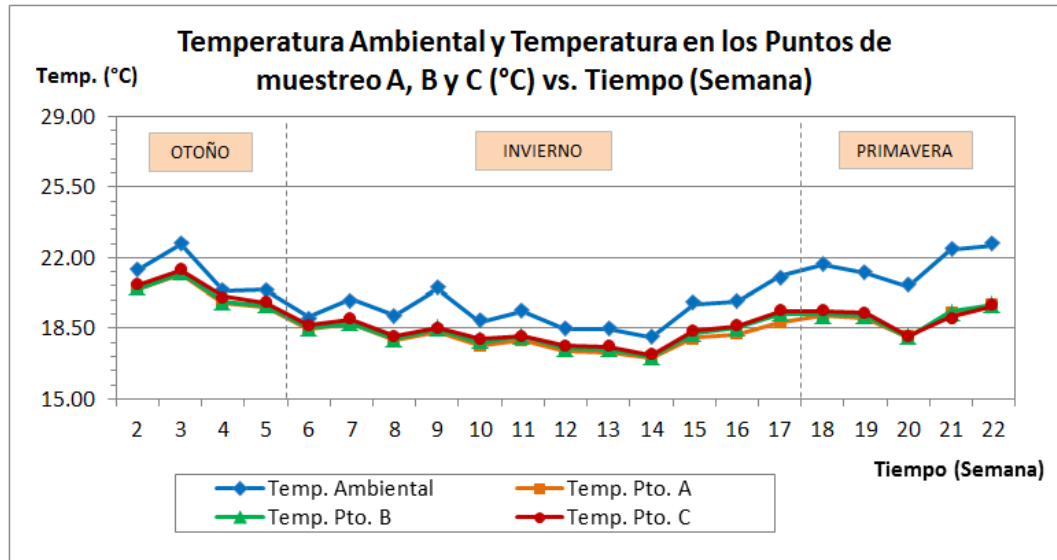
#### 7.1 DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS

##### 7.1.1 TEMPERATURA AMBIENTAL Y TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO

Luego de haber observado el comportamiento de la temperatura ambiental y de la temperatura en los diferentes puntos de muestreo a lo del periodo de evaluación, se procedió a analizarlos en conjunto. Para ello fue necesario utilizar los valores obtenidos de las mediciones semanales promedio (Ver Gráfica N° 7.1).

De la gráfica se observa que la temperatura ambiental y la temperatura en los tres puntos de muestreo mantienen un comportamiento o tendencia muy similar a lo largo de todas las semanas del periodo de evaluación.

Además, se observa que la temperatura ambiental siempre estuvo por encima de la temperatura en los puntos de muestreo. Presentándose una diferencia entre ambas temperaturas de 0.60 a 3.08 °C para el caso de la muestra en el Punto A. Luego, una diferencia entre ambas temperaturas de 0.53 a 3.08 °C para el caso de la muestra en el Punto B. Y finalmente, una diferencia entre ambas temperaturas de 0.29 a 3.33 °C para el caso de la muestra en el Punto C.



Donde:

*Temp. Ambiental.*- Temperatura ambiental

*Temp. Pto. A.*- Temperatura en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

*Temp. Pto. B.*- Temperatura en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

*Temp. Pto. C.*- Temperatura en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

**Gráfico N° 7.1: Temperatura ambiental y temperatura en los puntos de muestreo A, B y C vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

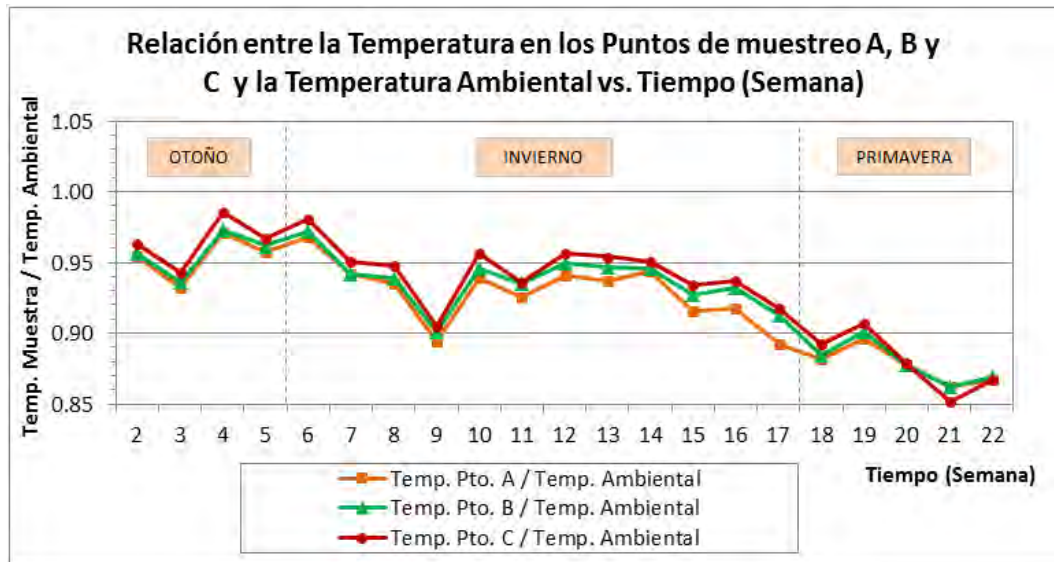
Luego de haber analizado de manera conjunta el comportamiento de la temperatura ambiental y el comportamiento de la temperatura en los tres puntos de muestreo, se procedió a calcular una relación entre ellos. (Ver Gráfica N° 7.2).

De la gráfica se observa que las relaciones entre las temperaturas en los puntos de muestreo y la temperatura ambiental es cercana al valor de 1.0. Además, se observa que hay una tendencia de disminución de este valor con el avance de las semanas.

Presentándose para el punto de muestreo A, una relación de 0.93 a 0.97 durante el otoño, una relación de 0.89 a 0.97 durante el invierno y una relación de 0.86 a 0.90 durante la primavera.

Para el punto de muestreo B, una relación de 0.94 a 0.97 durante el otoño, una relación de 0.90 a 0.97 durante el invierno y una relación de 0.86 a 0.90 durante la primavera.

Y finalmente, para el punto de muestreo C, una relación de 0.94 a 0.99 durante el otoño, una relación de 0.90 a 0.98 durante el invierno y una relación de 0.85 a 0.91 durante la primavera.



Donde:

*Temp. Pto. A / Temp. Ambiental.*- Temperatura en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1) entre la Temperatura ambiental

*Temp. Pto. B / Temp. Ambiental.*- Temperatura en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2) entre la Temperatura ambiental

*Temp. Pto. C / Temp. Ambiental.*- Temperatura en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador) entre la Temperatura ambiental

**Gráfico N° 7.2: Relación entre la temperatura en los puntos de muestreo A, B y C y la temperatura ambiental vs. Tiempo**

### 7.1.2 TEMPERATURA EN EL PUNTO DE MUESTREO Y PH

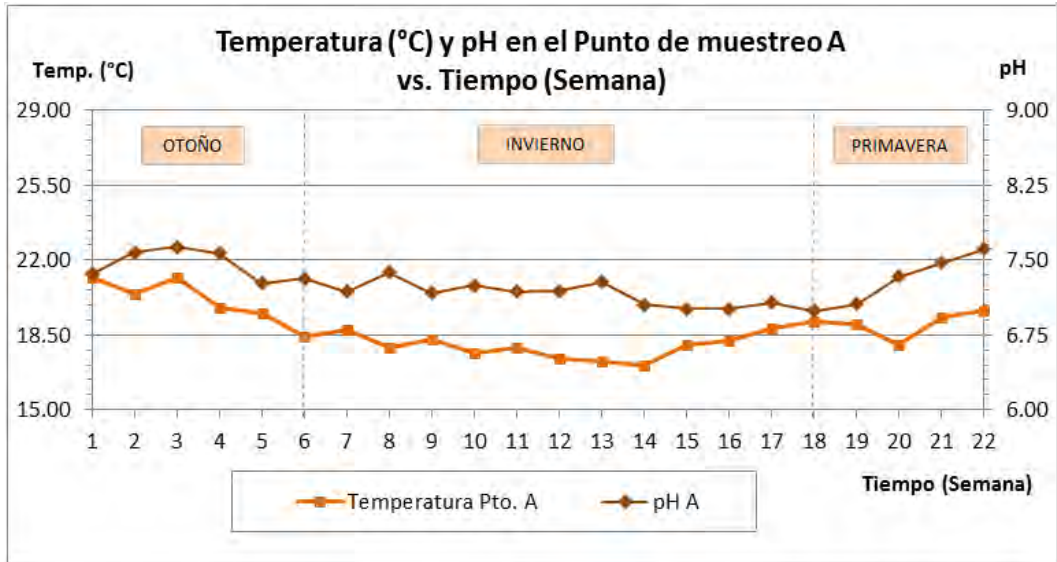
Una vez evaluado el comportamiento semanal promedio de la temperatura y el pH en los tres puntos de muestreo, se observó que ambos parámetros guardan una relación directa. Es decir, el valor del pH se incrementó al incrementarse la temperatura en el punto de muestreo; y disminuyó, al disminuir la temperatura en el punto de muestreo.

Además, se observó que la tendencia proporcional de estos dos parámetros se conserva de igual manera a lo largo de las tres estaciones del año, establecidas en el Cuadro N° 6.12.

En el caso del punto de muestreo A (Ver Gráfico N° 7.3).

En el caso del punto de muestreo B (Ver Gráfico N° 7.4).

En el caso del punto de muestreo C (Ver Gráfico N° 7.5).

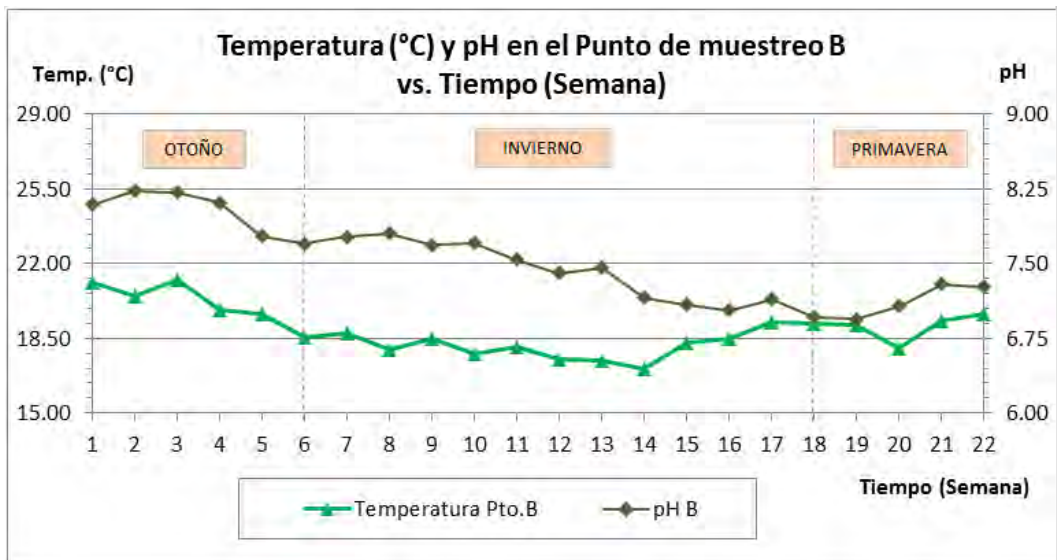


Donde:

Temperatura Pto. A.- Temperatura en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

pH A.- pH en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

**Gráfico N° 7.3: Temperatura y pH en el punto de muestreo A vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

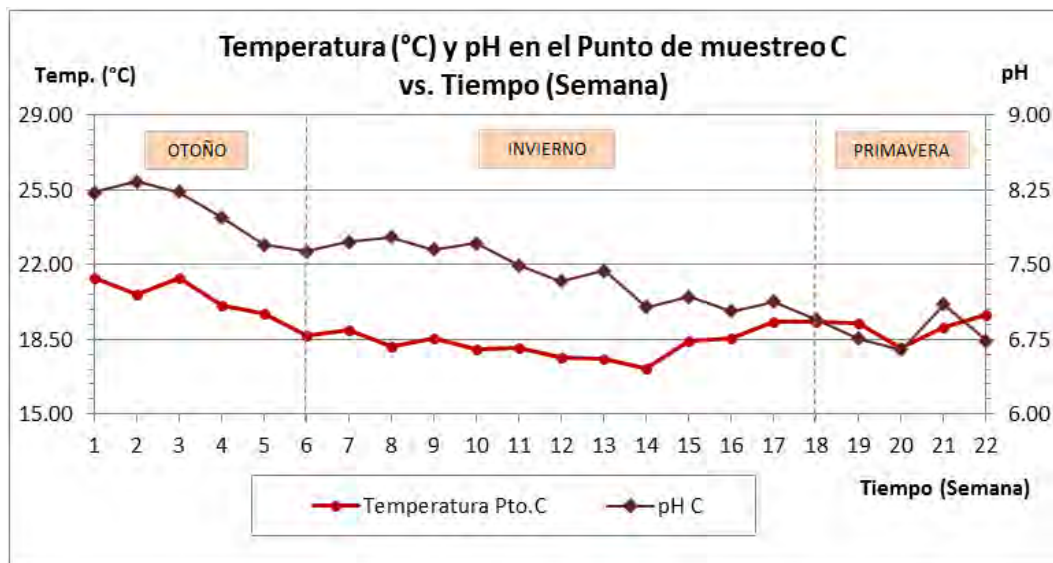


Donde:

Temperatura Pto. B.- Temperatura en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

pH B.- pH en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

**Gráfico N° 7.4: Temperatura y pH en el punto de muestreo B vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**



Donde:

Temperatura Pto. C.- Temperatura en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

pH C.- pH en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

**Gráfico N° 7.5: Temperatura y pH en el punto de muestreo C vs. Tiempo (Medición Semanal Promedio)**

### 7.1.3 TURBIEDAD

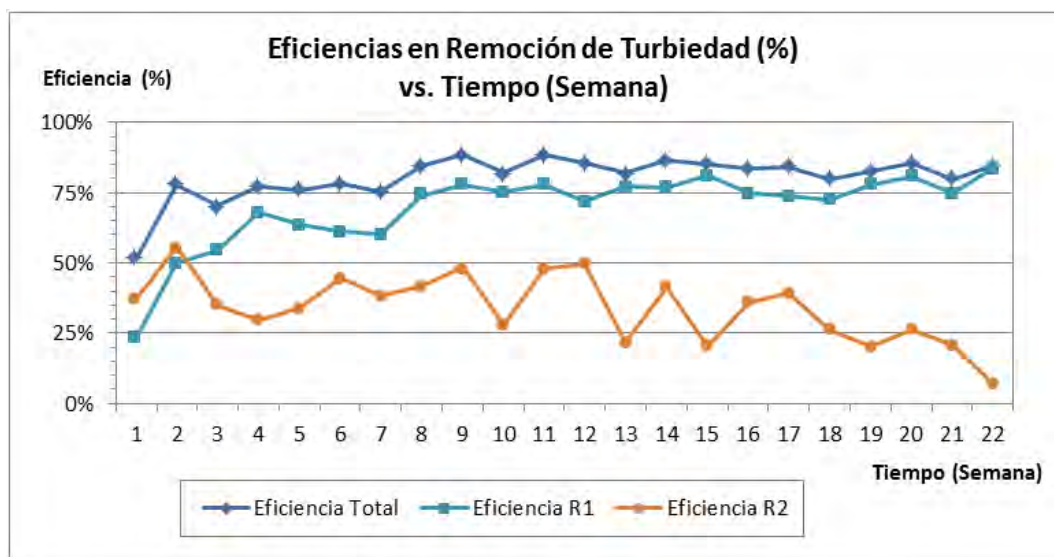
La turbiedad que está asociada a los sólidos en suspensión, fue uno de los parámetros que obtuvo una de las más altas eficiencias en remoción a lo largo del periodo de evaluación.

De la gráfica (Ver Gráfica N° 7.6) se observa que la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos se incrementó con el pasar de las semanas, empezando desde un valor aproximado de 52%, hasta llegar a una eficiencia máxima aproximada de 89% durante las semanas 9 y 11 del periodo de evaluación.

Los reactores R1 y R2 comenzaron con eficiencias bajas, ambas menores al 40%. Adicionalmente; mientras la eficiencia del Reactor R1 iba en incremento a lo largo del periodo de evaluación; la eficiencia del Reactor R2, iba disminuyendo debido a que la acumulación de biomasa y el nivel de degradación de materia orgánica eran mayores en el material filtrante del reactor R1, que en el material filtrante del reactor R2.

Al incrementarse la acumulación de biomasa en el material filtrante del reactor R1 con el paso de las semanas, mayores eran las eficiencias obtenidas por este reactor; mientras que menores eran las posibilidades del reactor R2 para incrementar su acumulación de biomasa y su eficiencia en remoción de turbiedad. Adicionalmente, es importante mencionar que durante el invierno la turbiedad se incrementó, ocasionando que la calidad del afluente al sistema no fuera del todo constante a lo largo del periodo de evaluación.

Cabe mencionar que la eficiencia del reactor R1 fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo A y B (Ingreso al reactor R1 e Ingreso al reactor R2 respectivamente), la eficiencia del reactor R2 fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo B y C (Ingreso al reactor R2 y salida del sedimentador respectivamente), y la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo A y C (Ingreso al reactor R1 y salida del sedimentador respectivamente).



Donde:

*Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipo bloques prismáticos*

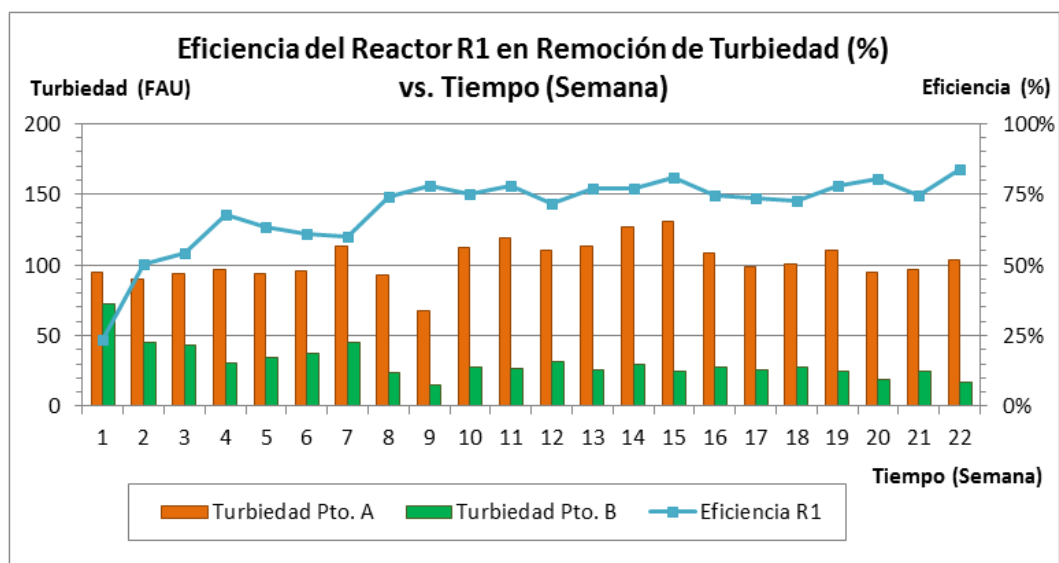
*Eficiencia R1.- Eficiencia del Reactor R1*

*Eficiencia R2.- Eficiencia del Reactor R2*

**Gráfico N° 7.6: Eficiencias en remoción de turbiedad vs. Tiempo**

En el caso de la eficiencia del Reactor R1 en remoción de turbiedad (Ver Gráfico N° 7.7) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 23.62% y una eficiencia en remoción máxima de 83.63% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 69.55% durante este periodo.

Además se observa el incremento constante de la eficiencia del Reactor R1 en remoción de turbiedad a largo de todas las semanas del periodo de evaluación. Siendo su máximo incremento durante la semana 22; probablemente debido a la acumulación de biomasa a la que se llegó en el material filtrante de este reactor durante la semana final.



Donde:

Turbiedad Pto. A.- Turbiedad en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

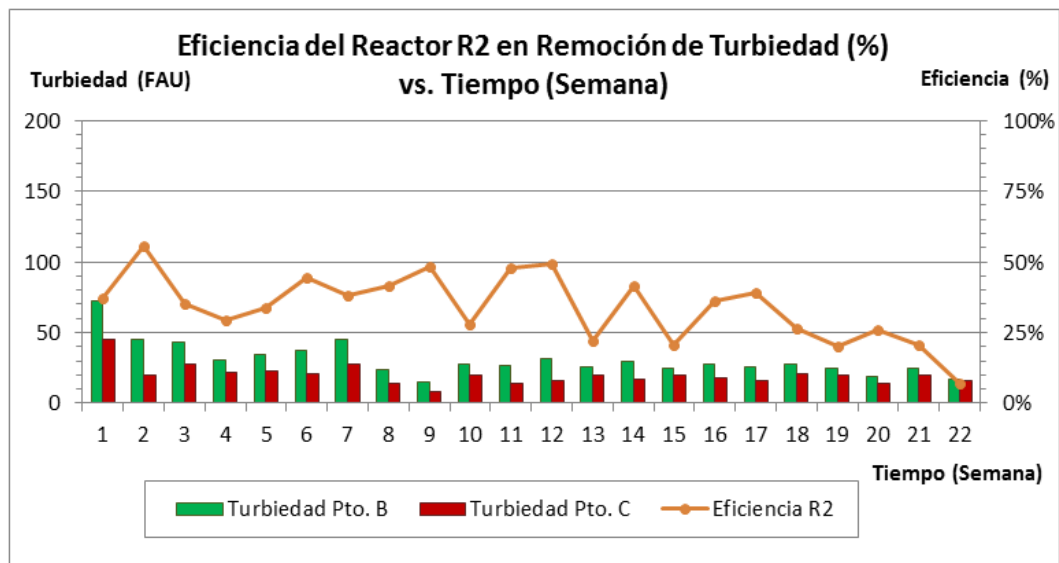
Turbiedad Pto. B.- Turbiedad en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Eficiencia R1.- Eficiencia del Reactor R1 en remoción de turbiedad

**Gráfico N° 7.7: Eficiencia del reactor R1 en remoción de turbiedad vs. Tiempo**

En el caso de la eficiencia del Reactor R2 en remoción de turbiedad (Ver Gráfico N° 7.8) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 6.95% y una eficiencia en remoción máxima de 55.67% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 34.02% durante este periodo.

Además se observa la disminución constante de la eficiencia del Reactor R2 en remoción de turbiedad a lo largo de todas las semanas del periodo de evaluación. Siendo su máxima disminución durante la semana 22; probablemente debido a la poca acumulación de biomasa a la que se llegó en el material filtrante de este reactor durante la semana final.



Donde:

Turbiedad Pto. B.- Turbiedad en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Turbiedad Pto. C.- Turbiedad en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

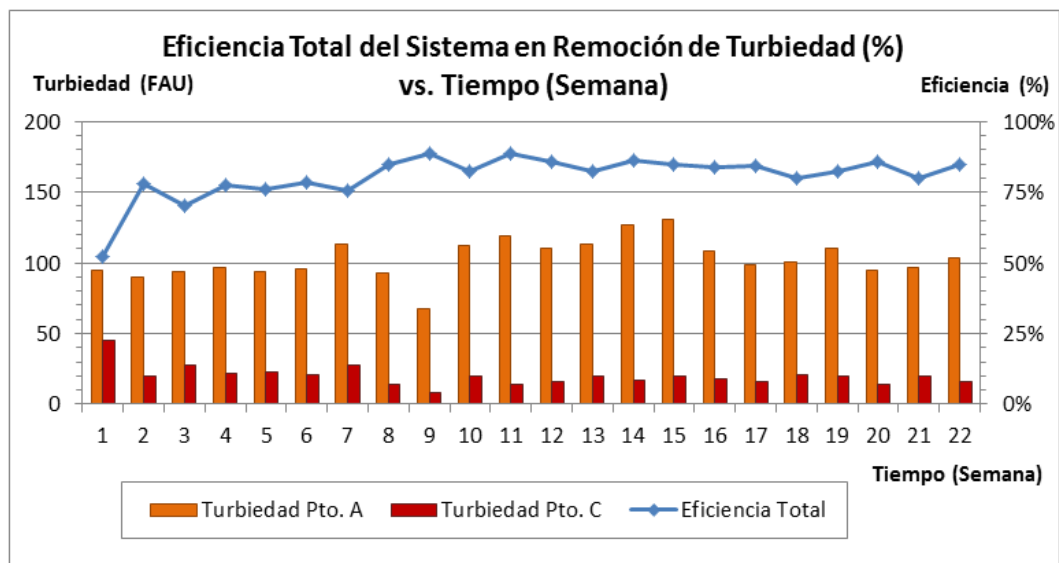
Eficiencia R2.- Eficiencia del Reactor R2 en remoción de turbiedad

**Gráfico N° 7.8: Eficiencia del reactor R2 en remoción de turbiedad vs. Tiempo**

Y en el caso de la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de turbiedad (Ver Gráfico N° 7.9), se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 52.01% y una eficiencia en remoción máxima de 88.52% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 80.49% durante este periodo.

Además se observa que la eficiencia total del sistema DHS se mantiene en un valor promedio aproximado al 85% a partir de la semana 11 del periodo de evaluación, debido a las eficiencias crecientes y decrecientes obtenidas en los Reactores R1 y R2.





Donde:

Turbiedad Pto. A.- Turbiedad en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Turbiedad Pto. C.- Turbiedad en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

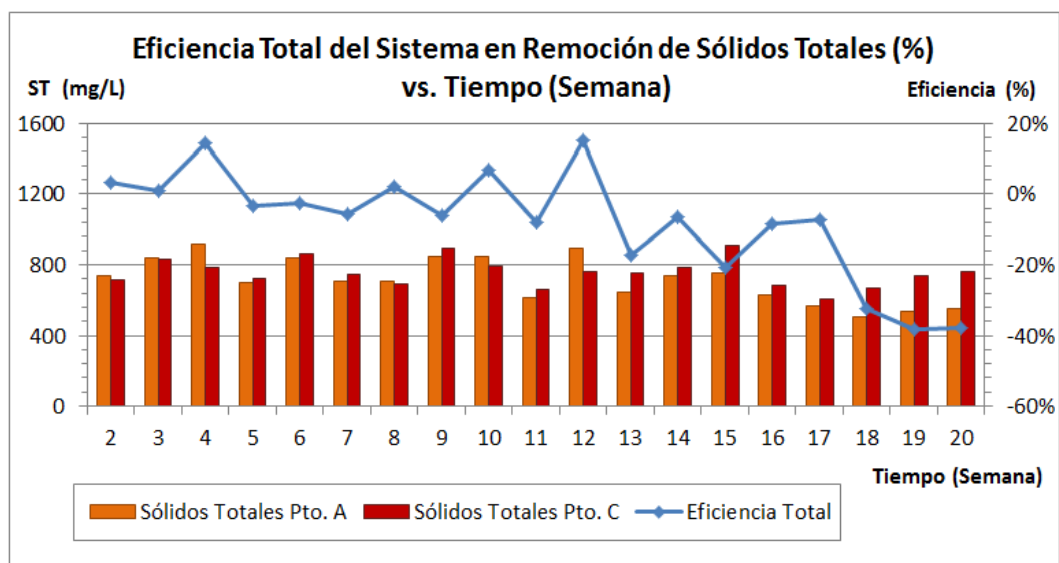
**Gráfico N° 7.9: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de turbiedad vs. Tiempo**

#### 7.1.4 SÓLIDOS TOTALES

La evaluación de los sólidos totales no mostró un alto porcentaje de remoción para el sistema DHS tipo bloques prismáticos; por el contrario, se obtuvieron resultados muy dispersos y de eficiencias negativas en la mayoría de semanas del periodo de evaluación.

Probablemente debido a que se haya ido arrastrando y/o adquiriendo material disuelto mediante el recorrido del caudal por el material filtrante; se observan eficiencias negativas en remoción de sólidos totales. Los sólidos totales incrementaron su valor, en vez de disminuirlo. (Ver Gráfico N° 7.10).

No obstante, como consecuencia de la baja acumulación de biomasa en el material filtrante de los Reactores R1 y R2 durante las primeras semanas del periodo de evaluación, se obtuvieron eficiencias positivas en remoción de sólidos totales en un rango aproximado de 1 a 15% durante las semanas 2, 3 y 4.



Donde:

Sólidos Totales Pto. A.- Sólidos totales en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Sólidos Totales Pto. C.- Sólidos totales en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

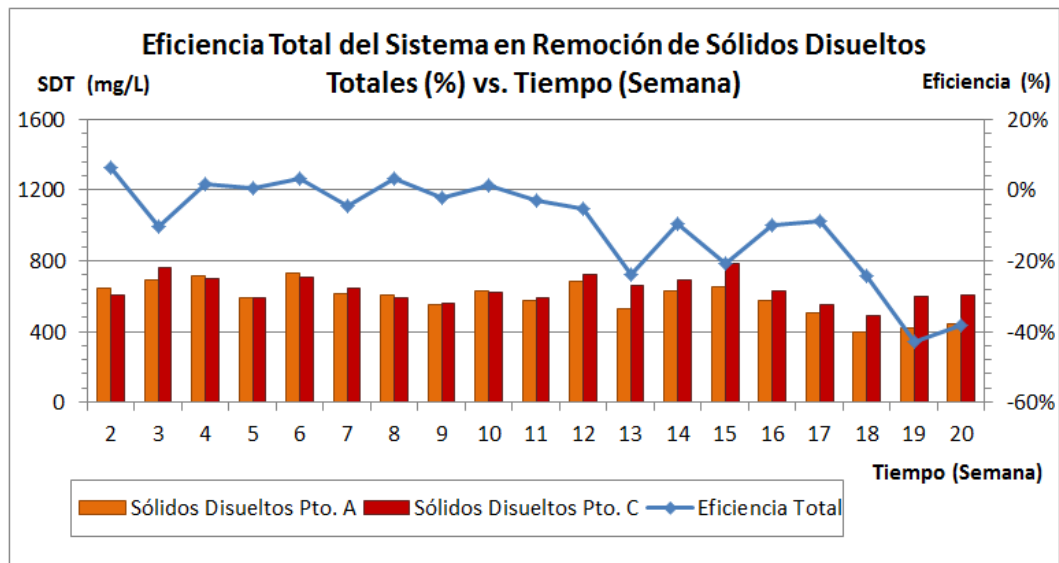
**Gráfico N° 7.10: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de sólidos totales vs. Tiempo**

### 7.1.5 SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES

La evaluación de los sólidos disueltos totales no mostró un alto porcentaje de remoción para el sistema DHS tipo bloques prismáticos; por el contrario, se obtuvieron resultados muy dispersos y de eficiencias negativas en la mayoría de semanas del periodo de evaluación.

Probablemente debido a que se haya ido adquiriendo material disuelto mediante el recorrido del caudal por el material filtrante; se observan eficiencias negativas en remoción de sólidos disueltos totales. Los sólidos disueltos totales incrementaron su valor, en vez de disminuirlo. (Ver Gráfico N° 7.11).

No obstante, como consecuencia de la baja acumulación de biomasa en el material filtrante durante la segunda semana del periodo de evaluación, se obtuvo una eficiencia positiva de remoción del 6.21% durante la semanas 2.



Donde:

Sólidos Disueltos Pto. A.- Sólidos disueltos totales en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Sólidos Disueltos Pto. C.- Sólidos disueltos totales en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

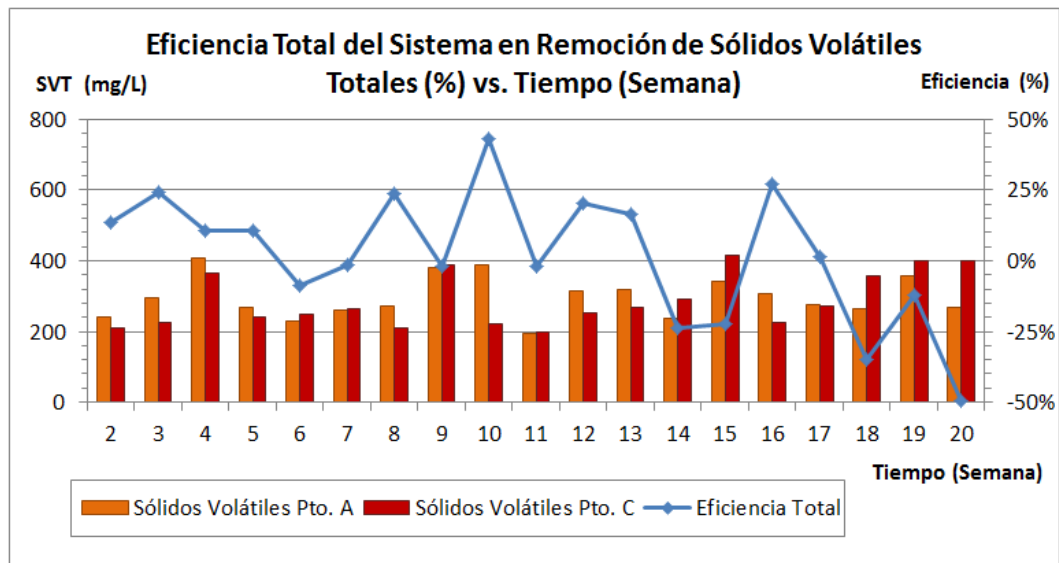
**Gráfico N° 7.11: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de sólidos disueltos totales vs. Tiempo**

### 7.1.6 SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

La evaluación de los sólidos volátiles totales mostró un comportamiento variable para el sistema DHS tipo bloques prismáticos; ya que durante todas las semanas del periodo de evaluación se obtuvieron resultados dispersos; de eficiencias positivas, durante algunas semanas; y de eficiencias negativas, durante otras.

Probablemente debido a que se haya ido incrementando la formación de biomasa en el material filtrante de los Reactores R1 y R2; se logró obtener la remoción de carga orgánica y la disminución en la concentración de los sólidos volátiles totales durante las semanas 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 16 y 17 del periodo de evaluación. (Ver Gráfico N° 7.12).

No obstante, los sólidos volátiles totales incrementaron su valor, en vez de disminuirlo durante el resto de semanas.



Donde:

Sólidos Volátiles Pto. A.- Sólidos volátiles totales en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Sólidos Volátiles Pto. C.- Sólidos volátiles totales en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

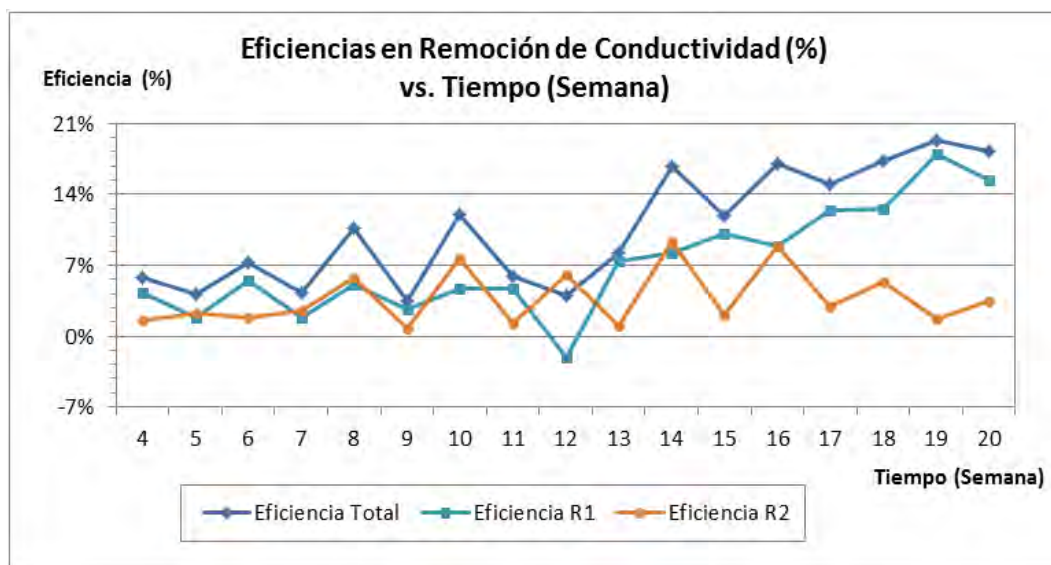
**Gráfico N° 7.12: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de sólidos volátiles totales vs. Tiempo**

### 7.1.7 CONDUCTIVIDAD

Como consecuencia de las bajas eficiencias obtenidas en la remoción de los sólidos disueltos totales, se obtuvieron bajas eficiencias en remoción de conductividad.

Las eficiencias obtenidas en remoción de conductividad estuvieron en un rango de 3 a 19% aproximadamente y adoptaron un comportamiento creciente a medida que iban avanzando las semanas del periodo de evaluación. (Ver Gráfica N° 7.13).

Contradictoriamente con las eficiencias obtenidas en la remoción de los sólidos disueltos totales, la eficiencia en remoción de conductividad se fue incrementando levemente en los reactores R1 y R2. Sólo durante la semana 12 del periodo de evaluación, el Reactor R1 presentó una eficiencia en remoción negativa. El Reactor R2 presentó siempre eficiencias positivas a lo largo de todo el periodo de evaluación.



Donde:

*Eficiencia Total.* - Eficiencia total del Sistema DHS tipo bloques prismáticos

*Eficiencia R1.* - Eficiencia del Reactor R1

*Eficiencia R2.* - Eficiencia del Reactor R2

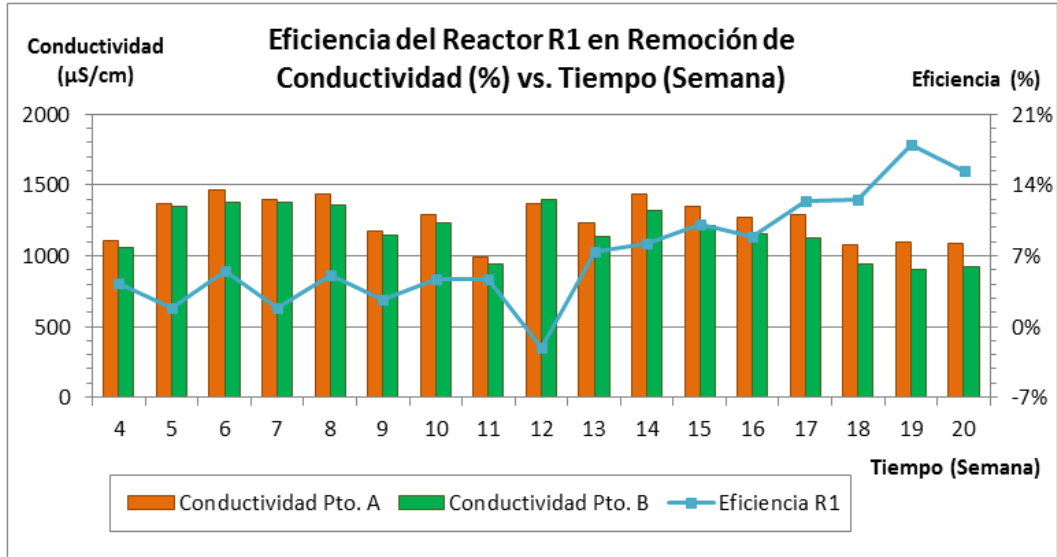
### Gráfico N° 7.13: Eficiencias en remoción de conductividad vs. Tiempo

En el caso de la eficiencia en remoción de conductividad del Reactor R1 (Ver Gráfico N° 7.14) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de -2.12% y una eficiencia en remoción máxima de 18.03% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 7.14% durante este periodo.

En el caso de la eficiencia en remoción de conductividad del Reactor R2 (Ver Gráfico N° 7.15) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 0.79% y una eficiencia en remoción máxima de 9.24% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 3.79% durante este periodo.

Y en el caso de la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de conductividad, (Ver Gráfico N° 7.16) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 3.40% durante la semana 9 del periodo de evaluación y una eficiencia en remoción máxima de 19.40% durante la semana 19 del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 10.66% durante todo este periodo. Adicionalmente, se observa que la

conductividad en el punto de muestreo A (afluente del sistema DHS) fue variable durante el periodo de evaluación.



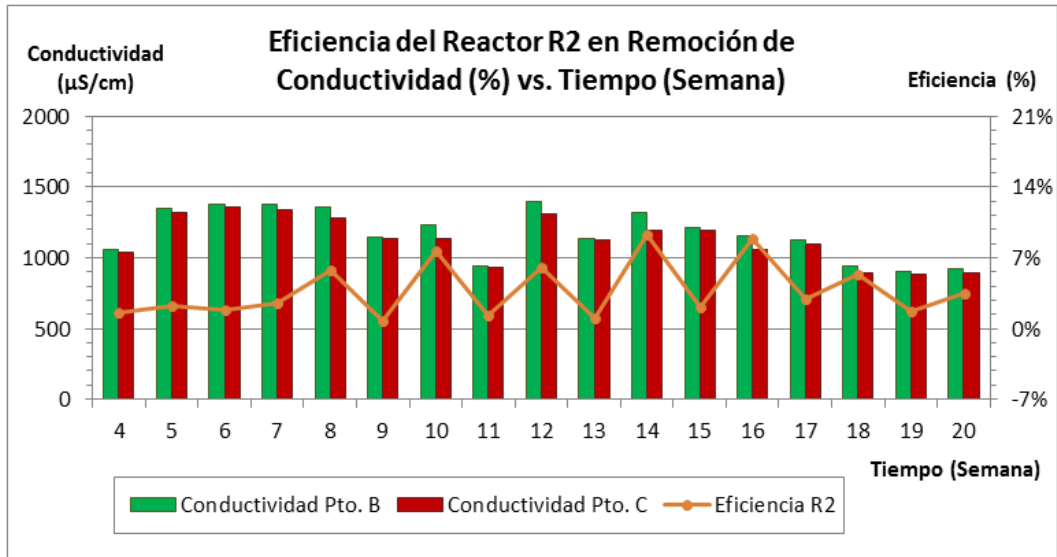
Donde:

Conductividad Pto. A.- Conductividad en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Conductividad Pto. B.- Conductividad en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Eficiencia R1.- Eficiencia del Reactor R1 en remoción de conductividad

**Gráfico N° 7.14: Eficiencia del reactor R1 en remoción de conductividad vs. Tiempo**



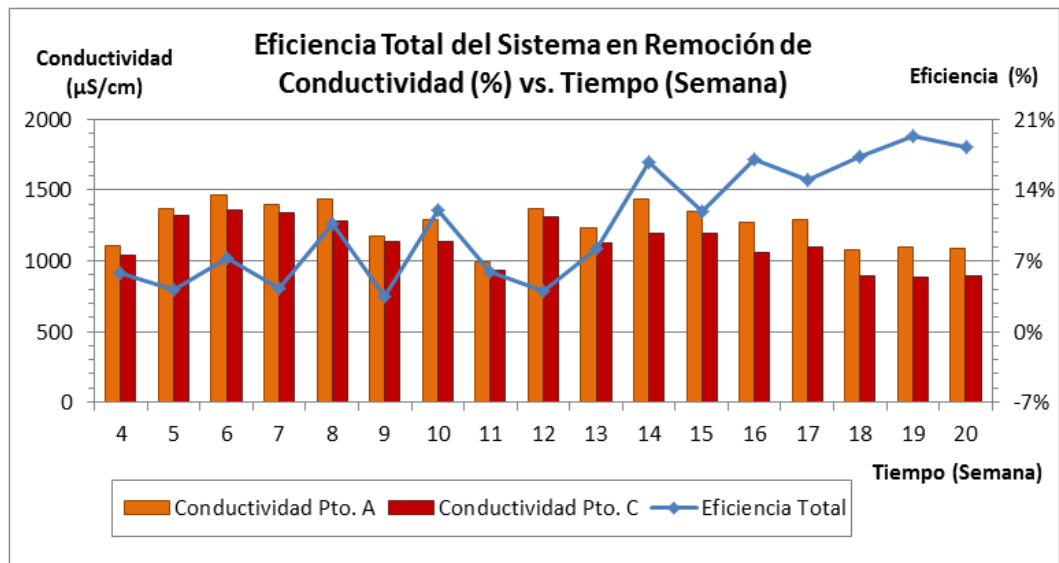
Donde:

Conductividad Pto. B.- Conductividad en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Conductividad Pto. C.- Conductividad en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia R2.- Eficiencia del Reactor R2 en remoción de conductividad

**Gráfico N° 7.15: Eficiencia del reactor R2 en remoción de conductividad vs. Tiempo**



Donde:

Conductividad Pto. A.- Conductividad en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Conductividad Pto. C.- Conductividad en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

**Gráfico N° 7.16: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de conductividad vs. Tiempo**

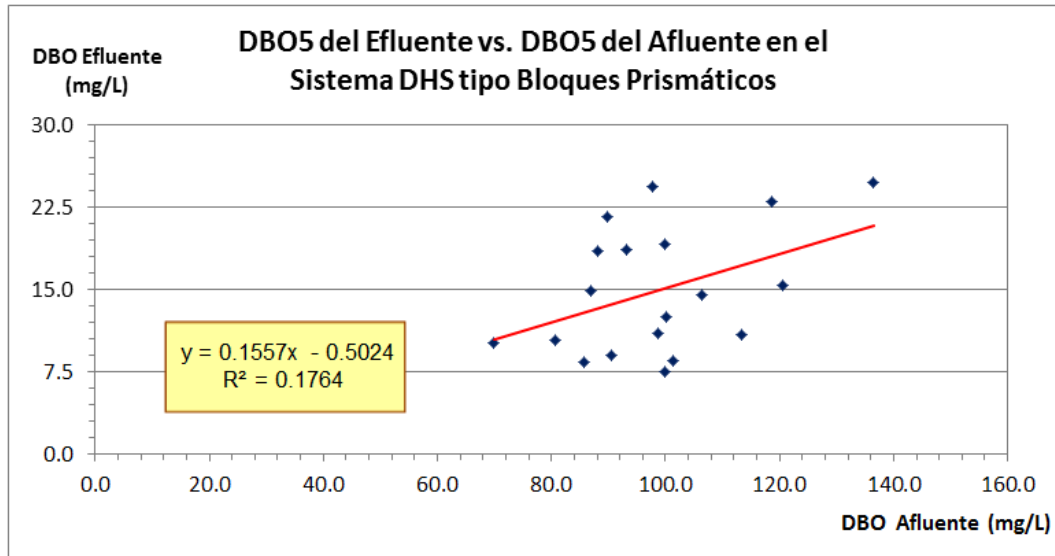
### 7.1.8 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Debido al incremento de los niveles de oxígeno disuelto en el caudal que iba descendiendo a través del material filtrante y debido a la acumulación de biomasa en el material filtrante, la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de  $DBO_5$  estuvo en un rango de 75 a 90% durante todo el periodo de evaluación.

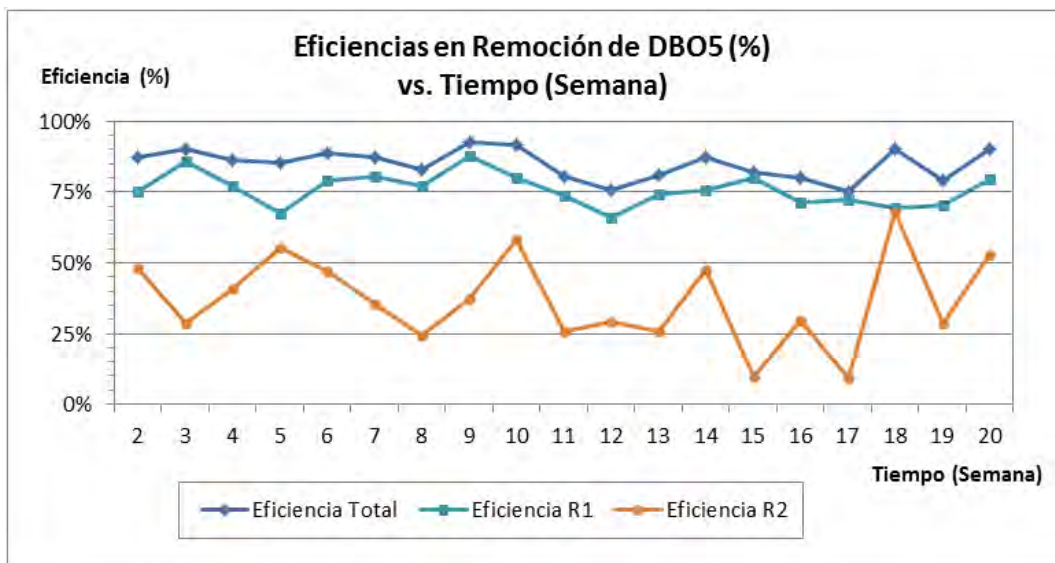
De los resultados y las eficiencias obtenidas durante el periodo de evaluación fue posible calcular una curva de remoción de  $DBO_5$  para el sistema de tratamiento secundario DHS tipo bloques prismáticos a escala piloto. (Ver Gráfico N° 7.17). De esta curva, se observa que la  $DBO_5$  del efluente depende directamente de la calidad del afluente mediante la siguiente relación:

$$DBO_5 \text{ Efluente} = 0.1557 \times DBO_5 \text{ Afluente} - 0.5024$$

$$R^2=0.1764$$



**Gráfico N° 7.17: DBO<sub>5</sub> del efluente vs. DBO<sub>5</sub> del afluente en el sistema DHS tipo bloques prismáticos**



Donde:

*Eficiencia Total.*- Eficiencia total del Sistema DHS tipo bloques prismáticos

*Eficiencia R1.*- Eficiencia del Reactor R1

*Eficiencia R2.*- Eficiencia del Reactor R2

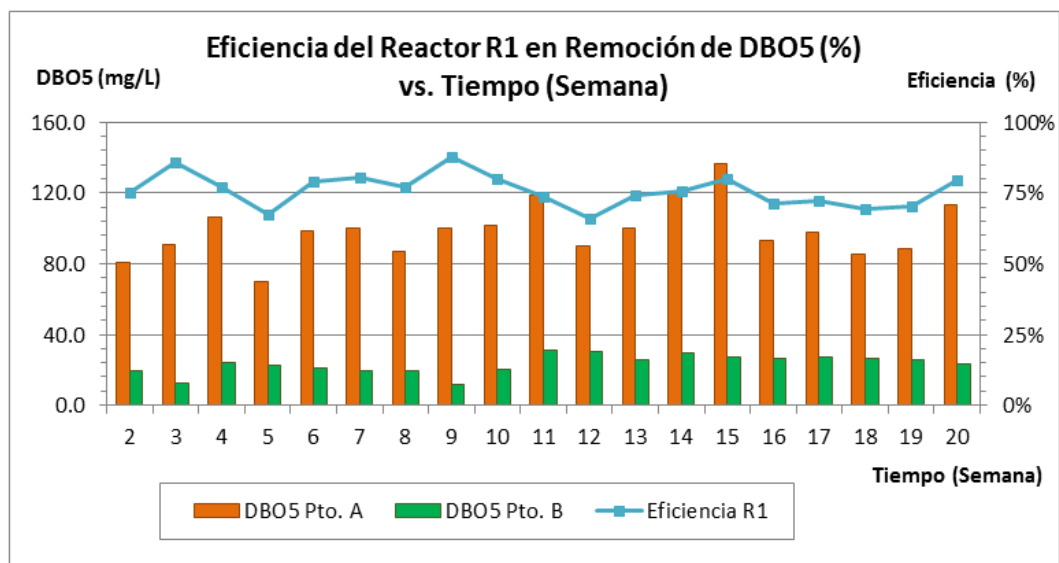
**Gráfico N° 7.18: Eficiencias en remoción de DBO<sub>5</sub> vs. Tiempo**

Una vez evaluadas las mediciones semanales de DBO<sub>5</sub> en los tres puntos de muestreo, se procedió a evaluar las eficiencias obtenidas. De la gráfica (Ver Gráfica N° 7.18) se observa que el Reactor R1 obtuvo mejores eficiencias que el Reactor R2 debido a la mayor acumulación de biomasa en su material filtrante.



Al incrementarse la acumulación de biomasa en el material filtrante del reactor R1 con el paso de las semanas, mayores eran las eficiencias obtenidas por este reactor; mientras que menores eran las posibilidades del reactor R2 para incrementar su acumulación de biomasa y su eficiencia en remoción de  $\text{DBO}_5$ .

Cabe mencionar que la eficiencia del reactor R1 fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo A y B (Ingreso al reactor R1 e Ingreso al reactor R2 respectivamente), la eficiencia del reactor R2 fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo B y C (Ingreso al reactor R2 y salida del sedimentador respectivamente), y la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo A y C (Ingreso al reactor R1 y salida del sedimentador respectivamente).



Donde:

DBO5 Pto. A.- DBO5 en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

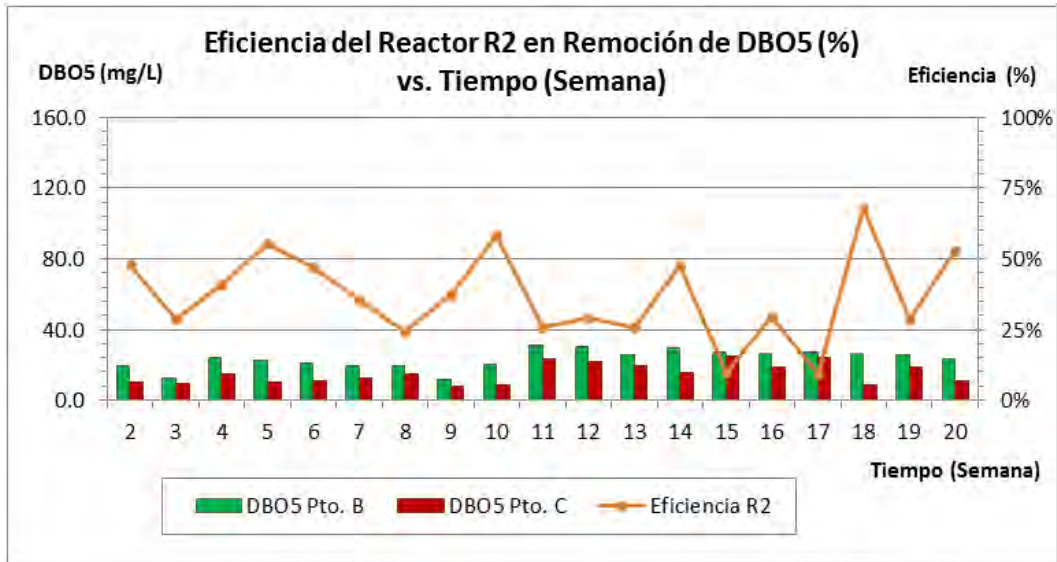
DBO5 Pto. B.- DBO5 en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Eficiencia R1.- Eficiencia del Reactor R1 en remoción de  $\text{DBO}_5$

**Gráfico N° 7.19: Eficiencia del reactor R1 en remoción de  $\text{DBO}_5$  vs. Tiempo**

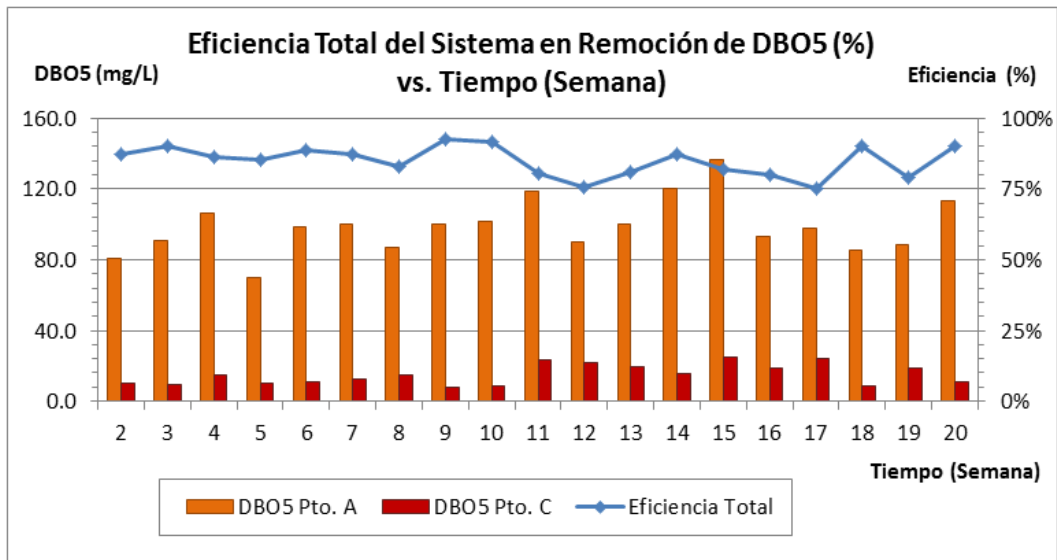
En el caso de la eficiencia en remoción de  $\text{DBO}_5$  del reactor R1 (Ver Gráfico N° 7.19) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 66.09% y una eficiencia en remoción máxima de

87.99% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 76.03% durante este periodo.



Donde:  
 DBO5 Pto. B.- DBO5 en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)  
 DBO5 Pto. C.- DBO5 en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)  
 Eficiencia R2.- Eficiencia del Reactor R2 en remoción de DBO5

**Gráfico N° 7.20: Eficiencia del Reactor R2 en Remoción de DBO<sub>5</sub> vs. Tiempo**



Donde:  
 DBO5 Pto. A.- DBO5 en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)  
 DBO5 Pto. C.- DBO5 en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)  
 Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

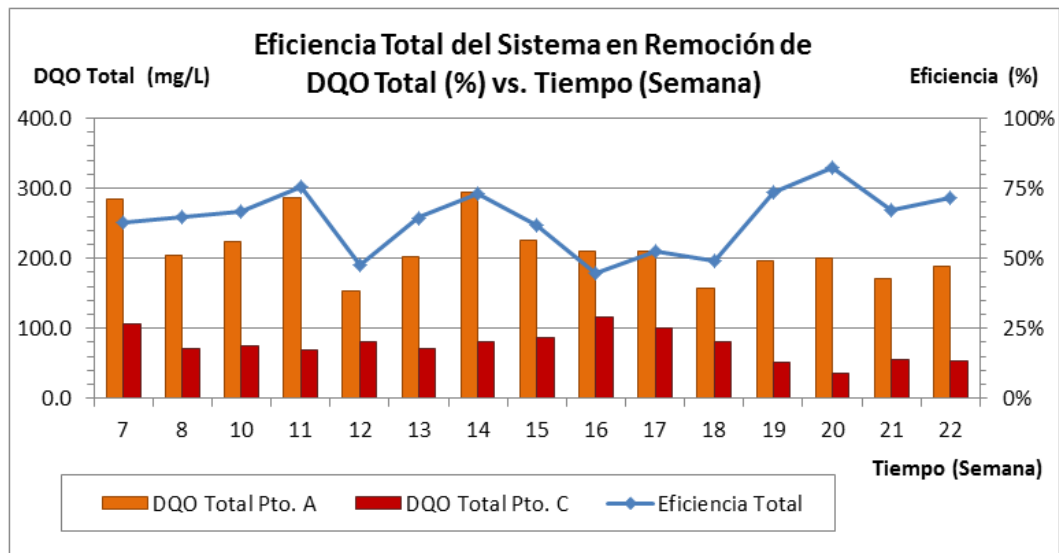
**Gráfico N° 7.21: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DBO<sub>5</sub> vs. Tiempo**

En el caso de la eficiencia en remoción de  $\text{DBO}_5$  del reactor R2 (Ver Gráfico N° 7.20) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 9.36% y una eficiencia en remoción máxima de 67.94% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 36.92% durante este periodo.

Y en el caso de la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de  $\text{DBO}_5$  (Ver Gráfico N° 7.21), se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 75.04% y una eficiencia en remoción máxima de 92.49% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 84.93% durante este periodo.

### 7.1.9 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO TOTAL

Una vez evaluadas las mediciones semanales de DQO total en los puntos A y C, se procedió a calcular la eficiencia en remoción de este parámetro.



Donde:

DQO Total Pto. A.- DQO Total en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

DQO Total Pto. C.- DQO Total en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

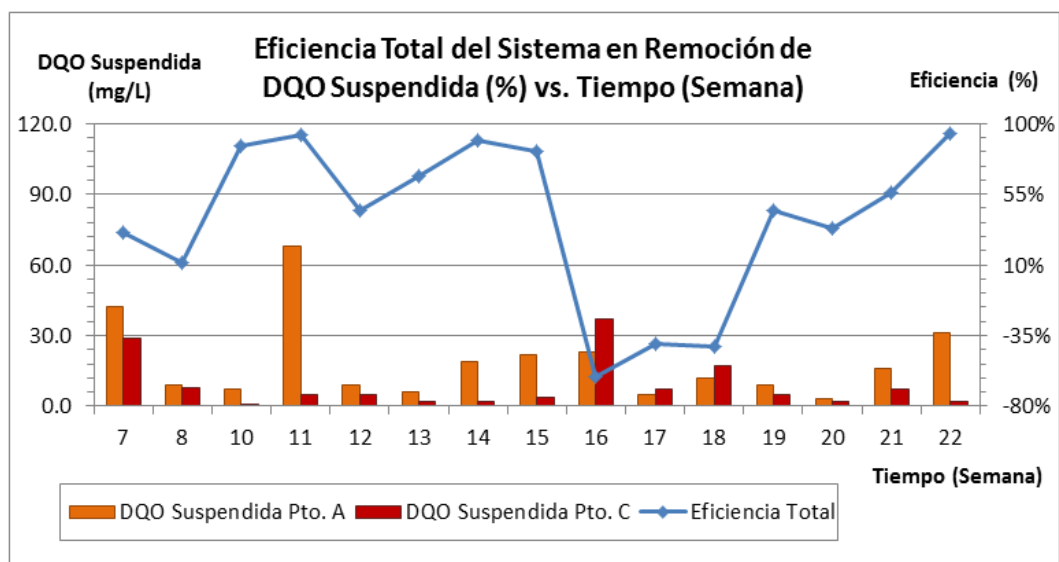
**Gráfico N° 7.22: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de  $\text{DQO}_{\text{TOTAL}}$  vs. Tiempo**

La eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO total (Ver Gráfico N° 7.22) obtuvo un valor mínimo de 44.76% y un valor máximo de 82.59% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 63.87% durante este periodo.

### 7.1.10 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SUSPENDIDA

Una vez evaluadas las mediciones semanales de DQO suspendida en los puntos A y C, se procedió a calcular la eficiencia en remoción de este parámetro.

La eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO suspendida (Ver Gráfico N° 7.23) obtuvo un valor mínimo de -60.87% y un valor máximo de 93.55% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 39.19% durante este periodo. Sólo en las semanas 16, 17 y 18 se obtuvieron eficiencias en remoción negativas.



Donde:

DQO Suspendida Pto. A.- DQO Suspendida en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

DQO Suspendida Pto. C.- DQO Suspendida en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

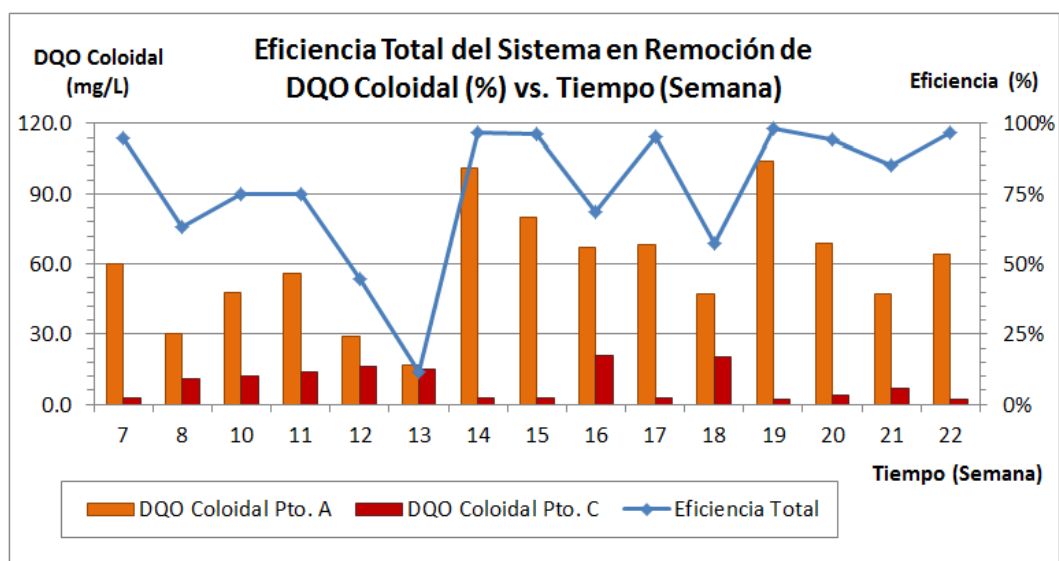
Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

**Gráfico N° 7.23: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO<sub>SUSPENDIDA</sub> vs. Tiempo**

### 7.1.11 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO COLOIDAL

Una vez evaluadas las mediciones semanales de DQO coloidal en los puntos A y C, se procedió a calcular la eficiencia en remoción de este parámetro.

La eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO coloidal (Ver Gráfico N° 7.24) obtuvo un valor mínimo de 11.76% y un valor máximo de 98.08% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 76.94% durante este periodo. Sólo en la semana 19 se obtuvo una eficiencia en remoción aproximada al 98.00%.



Donde:

DQO Coloidal Pto. A.- DQO Coloidal en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

DQO Coloidal Pto. C.- DQO Coloidal en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

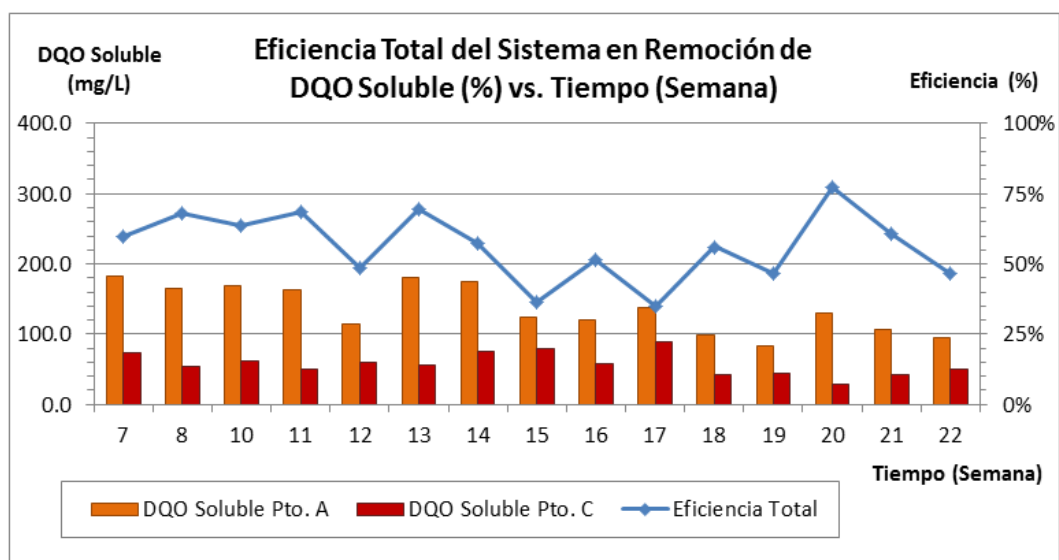
Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

**Gráfico N° 7.24: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO<sub>COLOIDAL</sub> vs. Tiempo**

### 7.1.12 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO SOLUBLE

Una vez evaluadas las mediciones semanales de DQO soluble en los puntos A y C, se procedió a calcular la eficiencia en remoción de este parámetro.

La eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO soluble (Ver Gráfico N° 7.25) obtuvo un valor mínimo de 34.78% y un valor máximo de 77.52% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 56.37% durante este periodo. Sólo en la semana 20 se obtuvo una eficiencia en remoción aproximada al 78.00%.



Donde:

DQO Soluble Pto. A.- DQO Soluble en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

DQO Soluble Pto. C.- DQO Soluble en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

**Gráfico N° 7.25: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de DQO<sub>SOLUBLE</sub> vs. Tiempo**

Cabe mencionar que la demanda química de oxígeno obtuvo buenos porcentajes de eficiencia en remoción como DQO total. Sin embargo; sus componentes como la DQO suspendida y la DQO coloidal no obtuvieron remociones muy eficientes.

En algunas oportunidades, la DQO suspendida y la DQO coloidal incrementaron su valor debido principalmente a la falta de remoción de los sólidos disueltos totales y los sólidos totales en el sistema DHS. Por otro lado, el único componente de la demanda química de oxígeno total que sí obtuvo altas eficiencias en remoción, fue el de la DQO soluble.

De las gráficas (Ver Gráfica N° 7.22 y 7.25) se observa que para la DQO total, la eficiencia total del sistema DHS se mantuvo entre 40 y 80%. Mientras que para la DQO soluble, la eficiencia total del sistema DHS se mantuvo entre 35 y 75% aproximadamente. Siendo la eficiencia variable durante el periodo de evaluación.

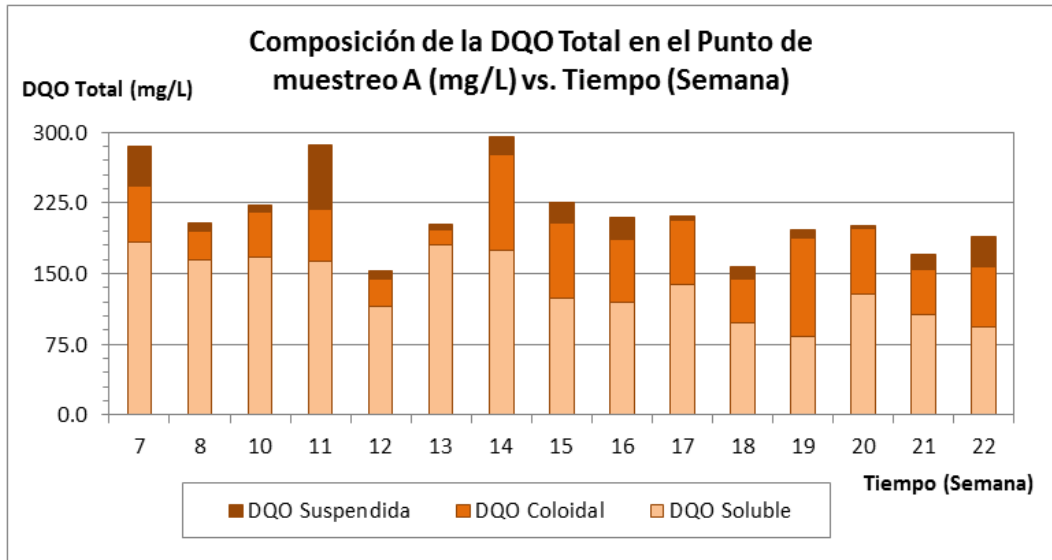
### **7.1.13 COMPOSICIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO**

De los resultados obtenidos en los puntos de muestreo A y C, se observó lo siguiente en cuanto a la composición de la demanda química de oxígeno total:

La DQO total en el punto de muestreo A obtuvo un valor semanal promedio de 214.07 mg/L a lo largo del periodo de evaluación. Luego, al analizar su composición, (Ver Gráfico N° 7.26) se observó que la DQO suspendida obtuvo un valor semanal promedio de 18.73 mg/L; la DQO coloidal, un valor semanal promedio de 59.13 mg/L; y la DQO soluble, un valor semanal promedio de 136.20 mg/L.

La DQO total de la muestra del punto C obtuvo un valor semanal promedio de 75.53 mg/L a lo largo del periodo de evaluación. Luego, al analizar su composición, (Ver Gráfico N° 7.27) se observó que la DQO suspendida obtuvo un valor semanal promedio de 8.87 mg/L; la DQO coloidal, un valor semanal promedio de 9.07 mg/L; y la DQO soluble, un valor semanal promedio de 57.60 mg/L.

Luego, al analizar la composición en porcentaje de la DQO total en el punto de muestreo A, (Ver Gráfico N° 7.28) se observó que la DQO suspendida representa en promedio el 8.75% de la DQO total; la DQO coloidal, representa en promedio el 27.62% de la DQO total; y la DQO soluble, representa en promedio el 63.63% de la DQO total.



Donde:

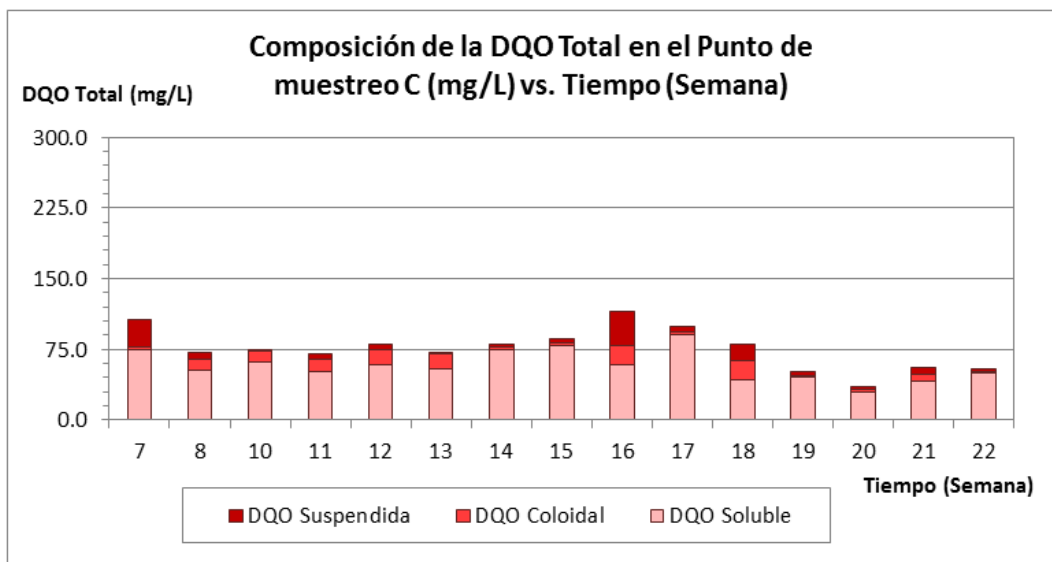
DQO Suspendida.- Demanda química de oxígeno suspendida en el punto de muestreo A

DQO Coloidal.- Demanda química de oxígeno coloidal en el punto de muestreo A

DQO Soluble.- Demanda química de oxígeno soluble en el punto de muestreo A

Punto de muestreo A.- Ingreso al Reactor R1

**Gráfico N° 7.26: Composición de la DQO<sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo A vs. Tiempo**



Donde:

DQO Suspendida.- Demanda química de oxígeno suspendida en el punto de muestreo C

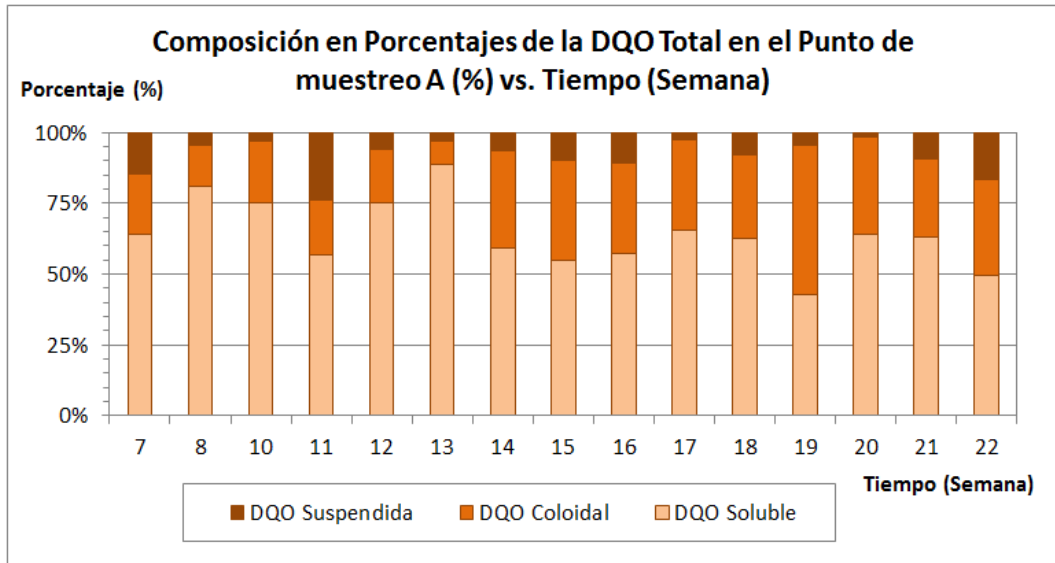
DQO Coloidal.- Demanda química de oxígeno coloidal en el punto de muestreo C

DQO Soluble.- Demanda química de oxígeno soluble en el punto de muestreo C

Punto de muestreo C.- Salida del Sedimentador

**Gráfico N° 7.27: Composición de la DQO<sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo C vs. Tiempo**





Donde:

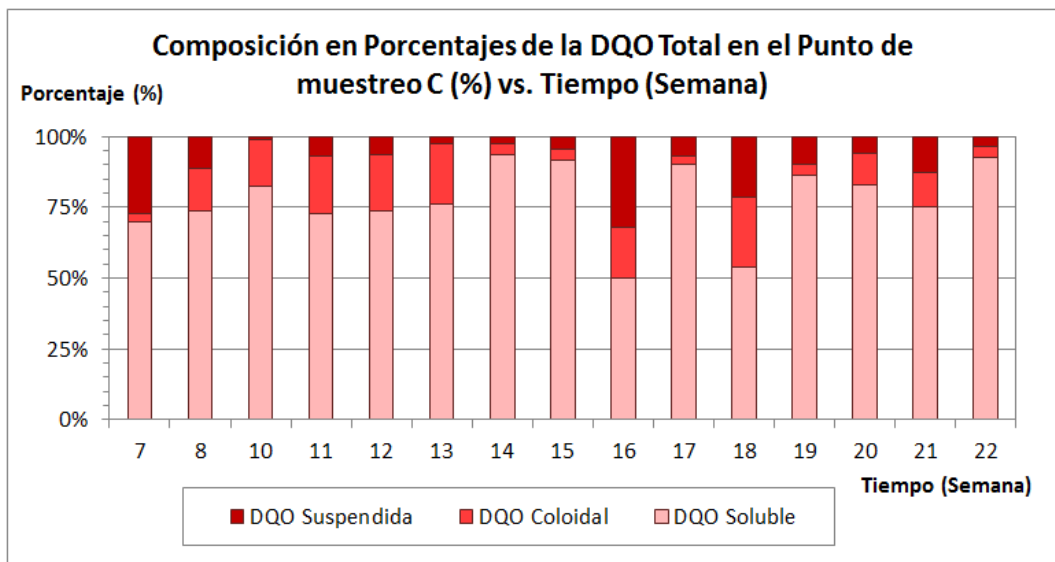
*DQO Suspendida.- Demanda química de oxígeno suspendida en el punto de muestreo A*

*DQO Coloidal.- Demanda química de oxígeno coloidal en el punto de muestreo A*

*DQO Soluble.- Demanda química de oxígeno soluble en el punto de muestreo A*

*Punto de muestreo A.- Ingreso al Reactor R1*

**Gráfico N° 7.28: Composición en porcentajes de la DQO<sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo A vs. Tiempo**



Donde:

*DQO Suspendida.- Demanda química de oxígeno suspendida en el punto de muestreo C*

*DQO Coloidal.- Demanda química de oxígeno coloidal en el punto de muestreo C*

*DQO Soluble.- Demanda química de oxígeno soluble en el punto de muestreo C*

*Punto de muestreo C.- Salida del Sedimentador*

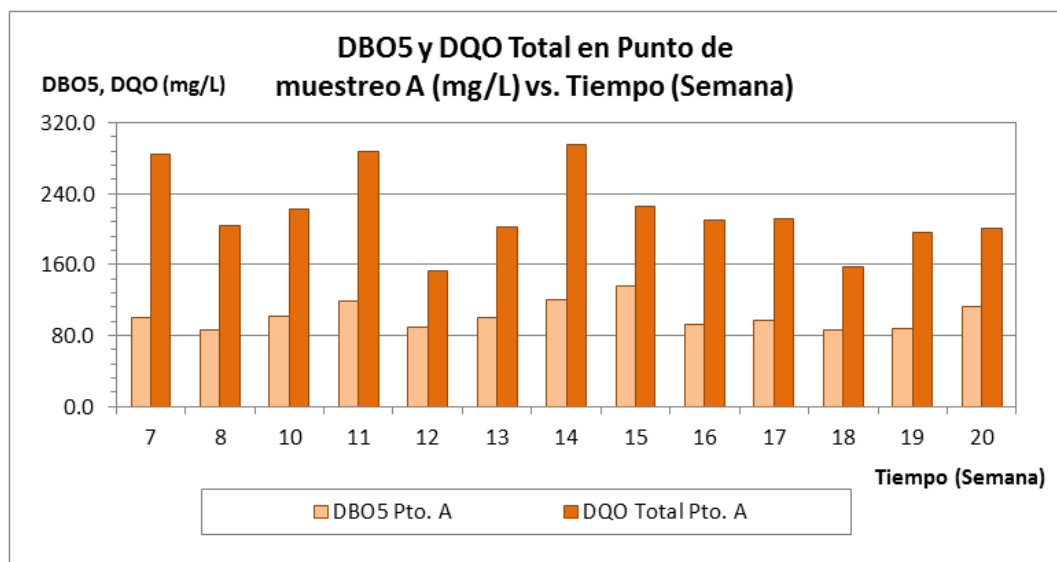
**Gráfico N° 7.29: Composición en porcentajes de la DQO<sub>TOTAL</sub> en el punto de muestreo C vs. Tiempo**

Y finalmente, al analizar la composición en porcentaje de la DQO total en el punto de muestreo C, (Ver Gráfico N° 7.29) se observó que la DQO suspendida representa en promedio el 11.74% de la DQO total; la DQO coloidal, representa en promedio el 12.00% de la DQO total; y la DQO soluble, representa en promedio el 76.26% de la DQO total.

#### 7.1.14 COMPARACIÓN ENTRE LA DBO<sub>5</sub> Y LA DQO<sub>TOTAL</sub>

De la comparación entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO total en el punto de muestreo A (Ver Gráfico N° 7.30), se observa que la DQO total es mayor a la DBO<sub>5</sub>. En promedio la DQO total representó 2.15 veces el valor de la DBO<sub>5</sub> durante todo el periodo de evaluación.

Y de la comparación entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO total en el punto de muestreo C (Ver Gráfico N° 7.31), se observa que la DQO total es mayor a la DBO<sub>5</sub>. En promedio la DQO total representó 5.17 veces el valor de la DBO<sub>5</sub> durante todo el periodo de evaluación.

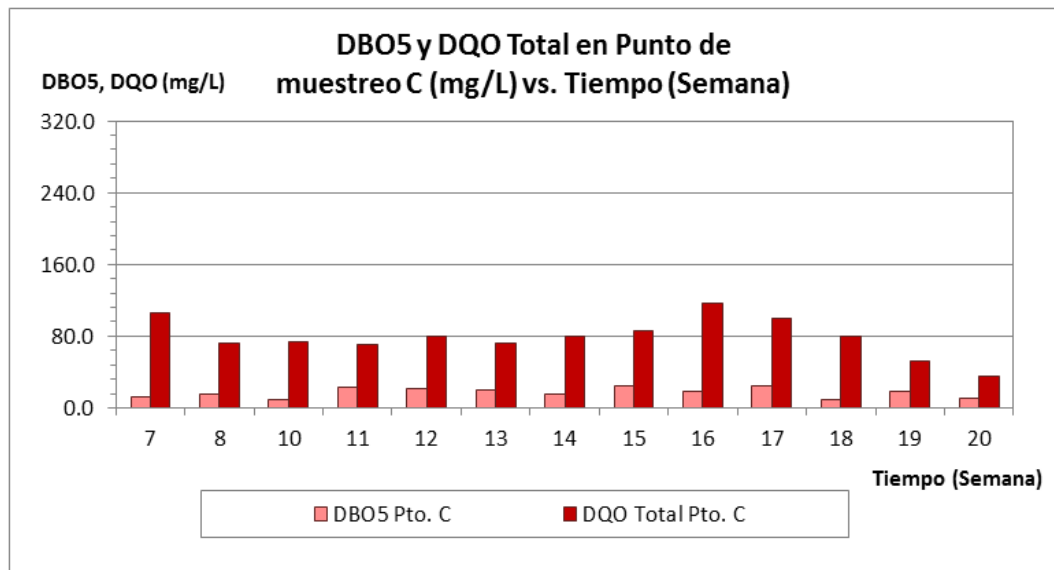


Donde:

DBO<sub>5</sub> Pto. A.- DBO<sub>5</sub> en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

DQO Total Pto. A.- DQO Total en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

**Gráfico N° 7.30: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda química de oxígeno (DQO<sub>TOTAL</sub>) del punto de muestreo A vs. Tiempo**



Donde:

DBO<sub>5</sub> Pto. C.- DBO<sub>5</sub> en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

DQO Total Pto. C.- DQO Total en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

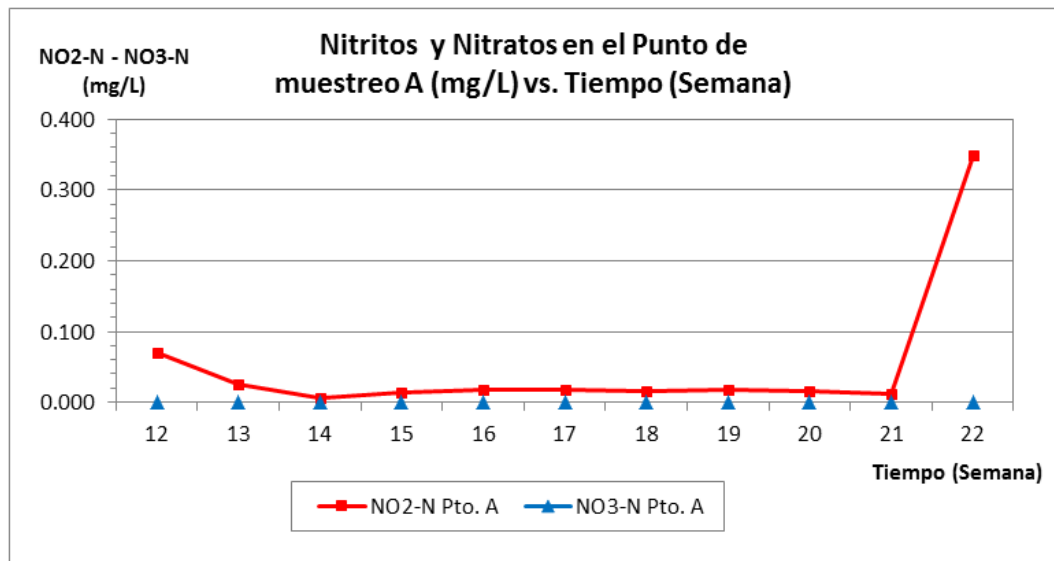
**Gráfico N° 7.31: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda química de oxígeno (DQO<sub>TOTAL</sub>) el punto de muestreo C vs. Tiempo**

Posiblemente debido a la formación de biomasa y a la biodegradación de la materia orgánica en el material filtrante de los reactores R1 y R2; el valor promedio de la eficiencia total del sistema DHS en remoción de DBO<sub>5</sub>, fue mayor al valor obtenido en remoción de DQO total. Siendo de 84.93% para la DBO<sub>5</sub> y de 63.87% para la DQO total.

### 7.1.15 NITRITOS Y NITRATOS

La concentración de nitritos y nitratos se incrementó a lo largo de las semanas de evaluación en los puntos de muestreo B y C, a medida que los niveles de oxígeno disuelto se iban incrementando y permitiendo la nitrificación de las aguas residuales.

Debido a que el afluente del sistema DHS tipo bloques prismáticos contaba con niveles bajos de oxígeno disuelto y concentraciones relativamente altas de DBO<sub>5</sub>, se observó que los valores obtenidos de nitritos y nitratos para el punto de muestreo A fueron cercanos al valor de 0 mg/L. (Ver Gráfico N° 7.32).



Donde:

NO2-N Pto. A.- Concentración de Nitritos en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

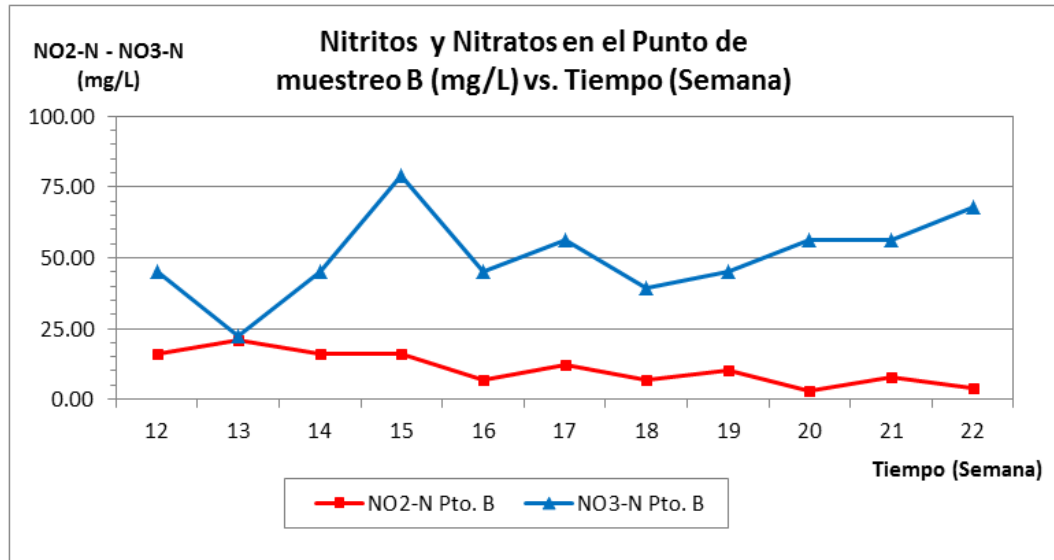
NO3-N Pto. A.- Concentración de Nitratos en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

**Gráfico N° 7.32: Nitritos y Nitratos en el punto de muestreo A vs. Tiempo**

En el caso del punto de muestreo B (Ver Gráfico N° 7.33) se observó que las concentraciones de nitritos y nitratos incrementaron su valor en comparación con los valores obtenidos en el punto de muestreo A; debido a que la muestra del punto B contaba con niveles de oxígeno disuelto mayores a 4.00 mg/L y con concentraciones de DBO<sub>5</sub> menores a 25.00 mg/L. Lo cual favorece al proceso de nitrificación en las aguas residuales que ya se encuentran en su última fase de depuración.

En el caso del punto de muestreo C (Ver Gráfico N° 7.34) se observó que las concentraciones de nitritos y nitratos mantuvieron el comportamiento de ascenso ya observado en la muestra del punto B. Es decir, se mantuvo el incremento debido a que la muestra del punto C contaba con niveles de oxígeno disuelto mayores a 4.50 mg/L y con concentraciones de DBO<sub>5</sub> menores a 15.00 mg/L.

Por otro lado, cabe mencionar que a medida que el proceso de nitrificación avanza; la formación de nitratos se incrementa, mientras que la concentración de nitritos disminuye.

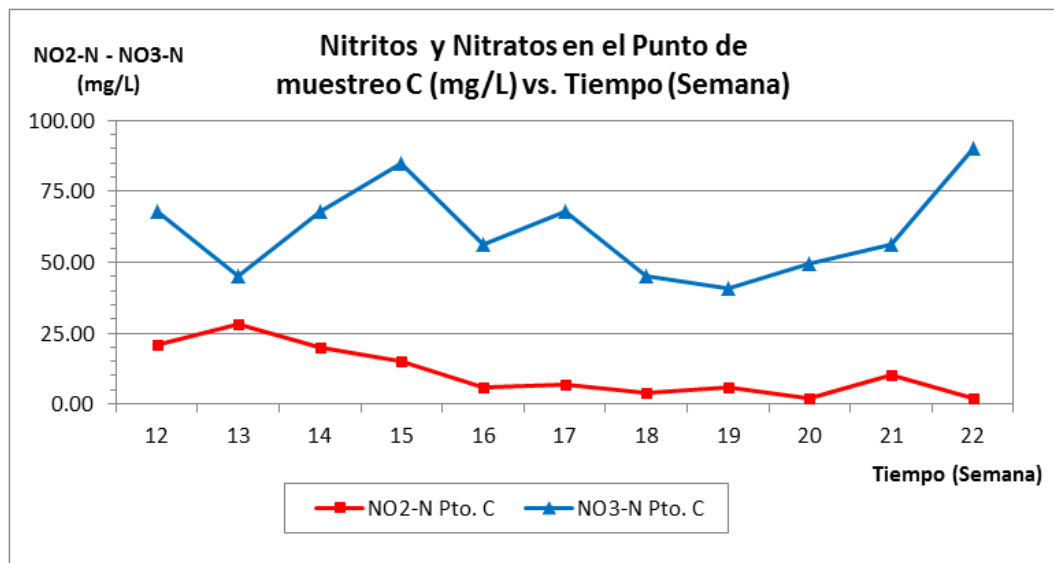


Donde:

NO2-N Pto. B.- Concentración de Nitritos en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

NO3-N Pto. B.- Concentración de Nitratos en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

**Gráfico N° 7.33: Nitritos y Nitratos en el punto de muestreo B vs. Tiempo**



Donde:

NO2-N Pto. C.- Concentración de Nitritos en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

NO3-N Pto. C.- Concentración de Nitratos en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

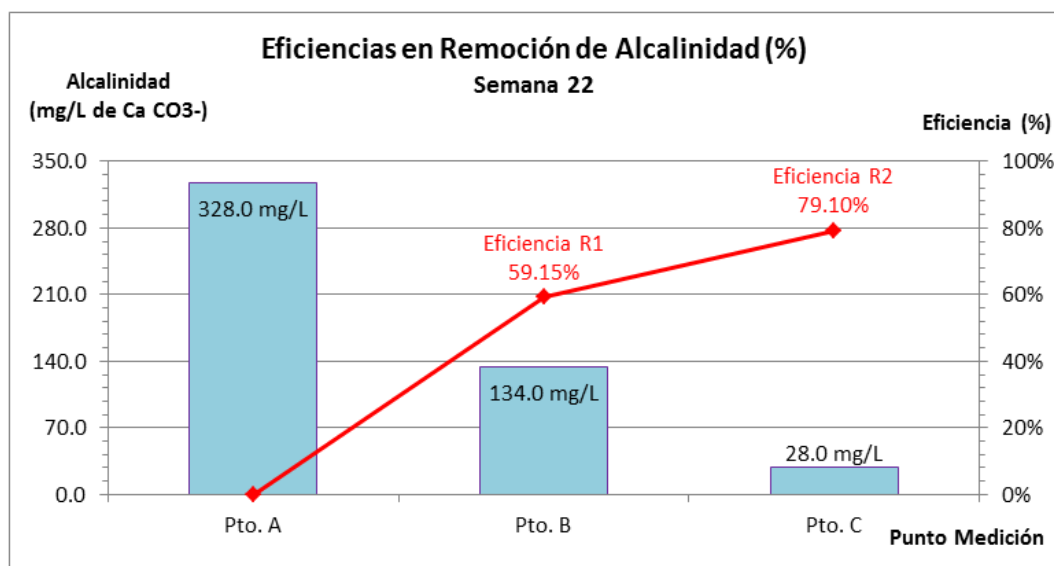
**Gráfico N° 7.34: Nitritos y Nitratos en el punto de muestreo C vs. Tiempo**

### 7.1.16 ALCALINIDAD

La alcalinidad fue medida en una sola oportunidad durante la semana N° 22 del periodo de evaluación. De esta única medición;

el Reactor R1 obtuvo una eficiencia en remoción del 59.15%; el Reactor R2, una eficiencia en remoción del 79.10%; y el sistema DHS tipo bloques prismáticos en conjunto, una eficiencia total del 91.46% (Ver Gráfico N° 7.35). Lo cual nos confirma el proceso de nitrificación dentro del material filtrante de los reactores R1 y R2.

Debido a que el flujo presentó ciertas características, como una concentración menor a 25 mg/L de DBO<sub>5</sub> y una concentración mayor a 4 mg/L de OD, las bacterias nitrificantes provocaron la oxidación biológica del amonio, la formación de iones nitrato y con ello, el consumo de la alcalinidad. Además, se observó una disminución en el valor del pH.



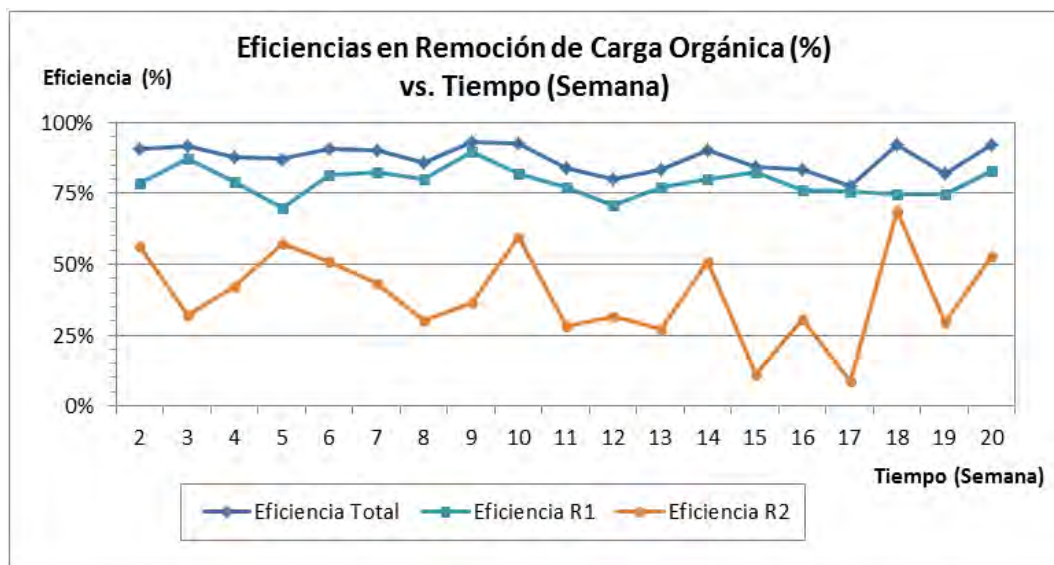
**Gráfico N° 7.35: Eficiencias en remoción de alcalinidad durante la semana N° 22 del periodo de evaluación**

### 7.1.17 CARGA ORGÁNICA

La eficiencia obtenida en la remoción de carga orgánica tuvo un comportamiento similar al obtenido en la remoción de DBO<sub>5</sub>, debido a que la carga orgánica es proporcional al valor de la DBO<sub>5</sub> y al caudal. Cabe mencionar que el caudal fue de 1.0 ml/seg aproximadamente durante todo el periodo de evaluación.

Una vez evaluados los resultados semanales de carga orgánica en los tres puntos de muestreo, se procedió a evaluar las eficiencias obtenidas. De la gráfica (Ver Gráfica N° 7.36) se observa que el Reactor R1 obtuvo mejores eficiencias que el Reactor R2 debido a la mayor acumulación de biomasa en su material filtrante.

Con el paso de las semanas, al incrementarse la acumulación de biomasa en el material filtrante, mayores eran las eficiencias obtenidas por este reactor; mientras que menores eran las posibilidades del reactor R2 para incrementar su acumulación de biomasa y su eficiencia en remoción de carga orgánica.



Donde:

*Eficiencia Total.*- Eficiencia total del Sistema DHS tipo bloques prismáticos

*Eficiencia R1.*- Eficiencia del Reactor R1

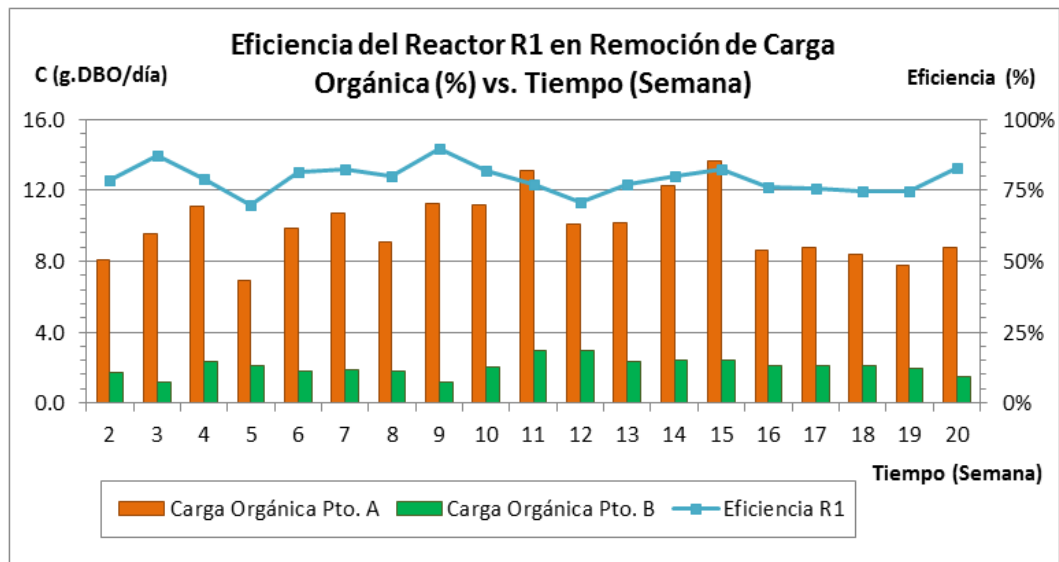
*Eficiencia R2.*- Eficiencia del Reactor R2

**Gráfico N° 7.36: Eficiencias en remoción de carga orgánica vs. Tiempo**

Cabe mencionar que la eficiencia del reactor R1 fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo A y B (Ingreso al reactor R1 e Ingreso al reactor R2 respectivamente), la eficiencia del reactor R2 fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo B y C (Ingreso al reactor R2 y salida del sedimentador respectivamente), y la eficiencia total del sistema

DHS tipo bloques prismáticos fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo A y C (Ingreso al reactor R1 y salida del sedimentador respectivamente).

En el caso de la eficiencia en remoción de carga orgánica del reactor R1 (Ver Gráfico N° 7.37) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 69.82% y una eficiencia en remoción máxima de 89.57% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 79.08% durante este periodo.



Donde:

Carga Orgánica Pto. A.- Carga orgánica en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Carga Orgánica Pto. B.- Carga orgánica en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Eficiencia R1.- Eficiencia del Reactor R1 en remoción de carga orgánica

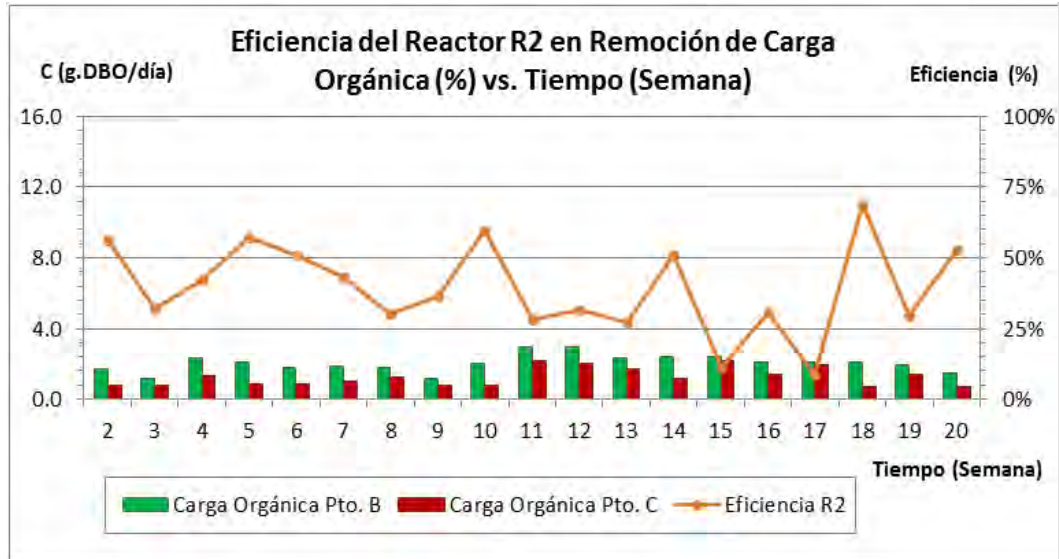
### Gráfico N° 7.37: Eficiencia del reactor R1 en remoción de carga orgánica vs. Tiempo

En el caso de la eficiencia en remoción de carga orgánica del reactor R2 (Ver Gráfico N° 7.38) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 8.82% y una eficiencia en remoción máxima de 68.69% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 39.35% durante este periodo.

Y en el caso de la eficiencia total del sistema DHS en remoción de carga orgánica (Ver Gráfico N° 7.39), se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 77.74% y una eficiencia en remoción



máxima de 93.35% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 87.34% durante este periodo.



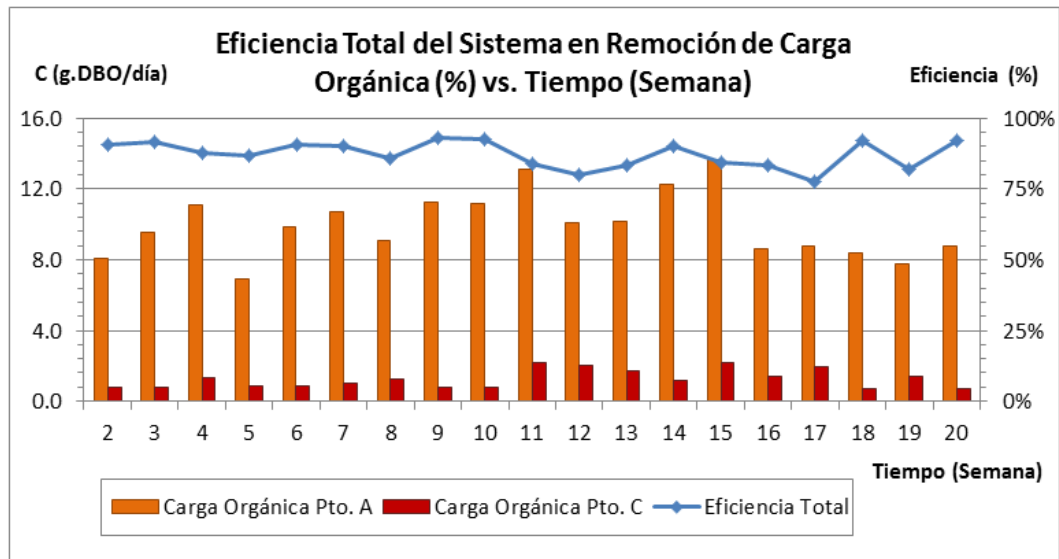
Donde:

Carga Orgánica Pto. B.- Carga orgánica en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Carga Orgánica Pto. C.- Carga orgánica en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia R2.- Eficiencia del Reactor R2 en remoción de carga orgánica

**Gráfico N° 7.38: Eficiencia del reactor R2 en remoción de carga orgánica vs. Tiempo**



Donde:

Carga Orgánica Pto. A.- Carga orgánica en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Carga Orgánica Pto. C.- Carga orgánica en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

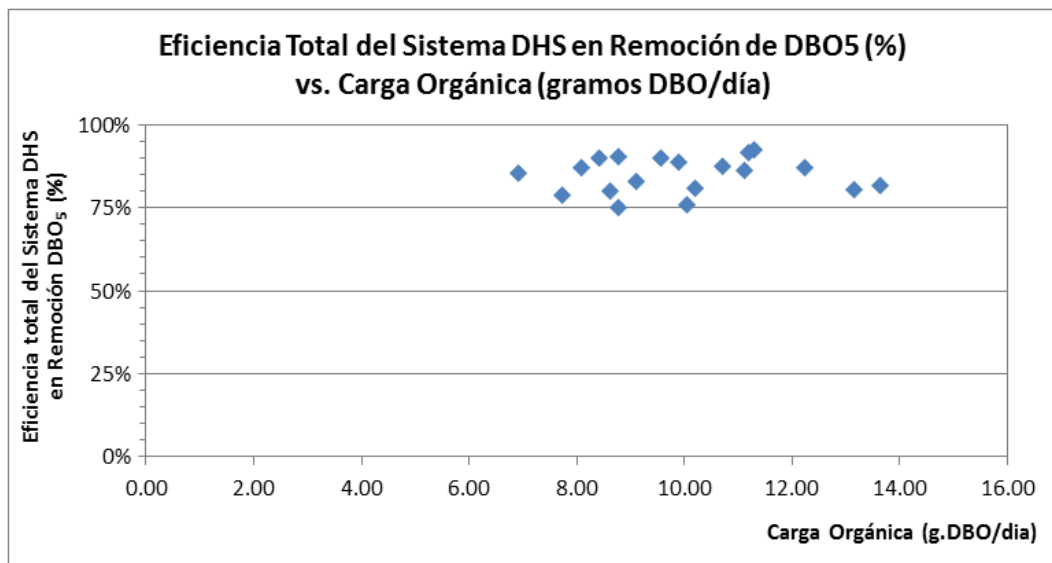
Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

**Gráfico N° 7.39: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de carga orgánica vs. Tiempo**

### 7.1.18 RELACIÓN ENTRE CARGA ORGÁNICA Y LA EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

De la gráfica, (Ver Gráfico N° 7.40), se observa que mediante el sistema DHS tipo bloques prismáticos se puede llegar a obtener una eficiencia en remoción de  $\text{DBO}_5$  aproximada de 75 a 92% para una carga orgánica en un rango de 7 a 13 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$ .

Luego, de la proyección de una curva de tendencia para los valores señalados, se podría conocer la eficiencia en remoción aproximada de  $\text{DBO}_5$  para cualquier otro valor de carga orgánica de un afluente diferente.

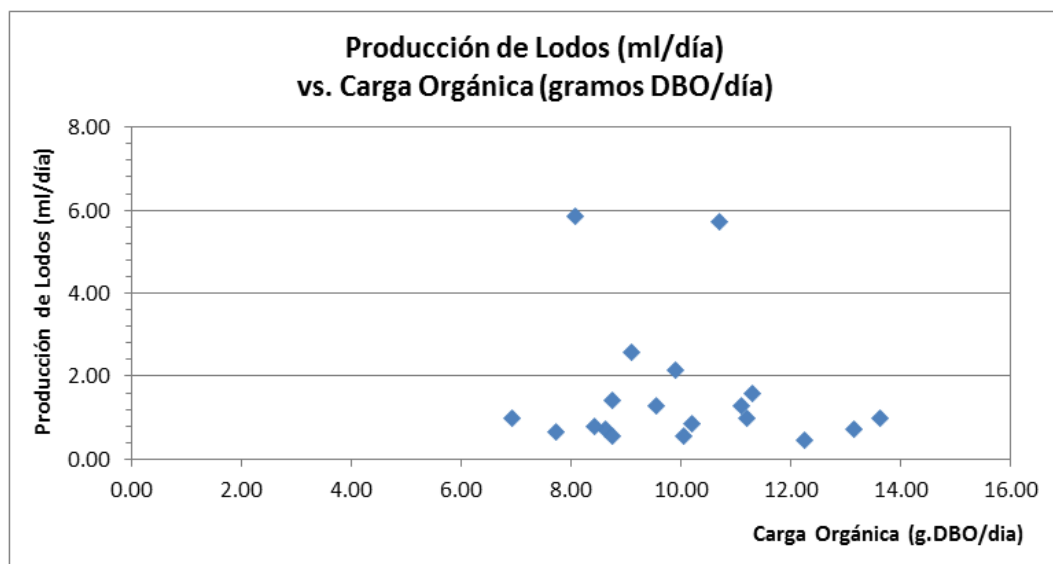


**Gráfico N° 7.40: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de  $\text{DBO}_5$  vs. Carga orgánica**

### 7.1.19 RELACIÓN ENTRE CARGA ORGÁNICA Y LA PRODUCCIÓN DE LODOS

De la gráfica, (Ver Gráfico N° 7.41), se observa que mediante el sistema DHS tipo bloques prismáticos se puede llegar a obtener una producción de lodos aproximada de 0.5 y 6  $\text{ml}/\text{día}$  para una carga orgánica en un rango de 7 y 13 gramos  $\text{DBO}/\text{día}$ .

Luego, de la proyección de una curva de tendencia para los valores señalados, se podría conocer la producción aproximada de lodos para cualquier otro valor de carga orgánica de un afluente diferente.



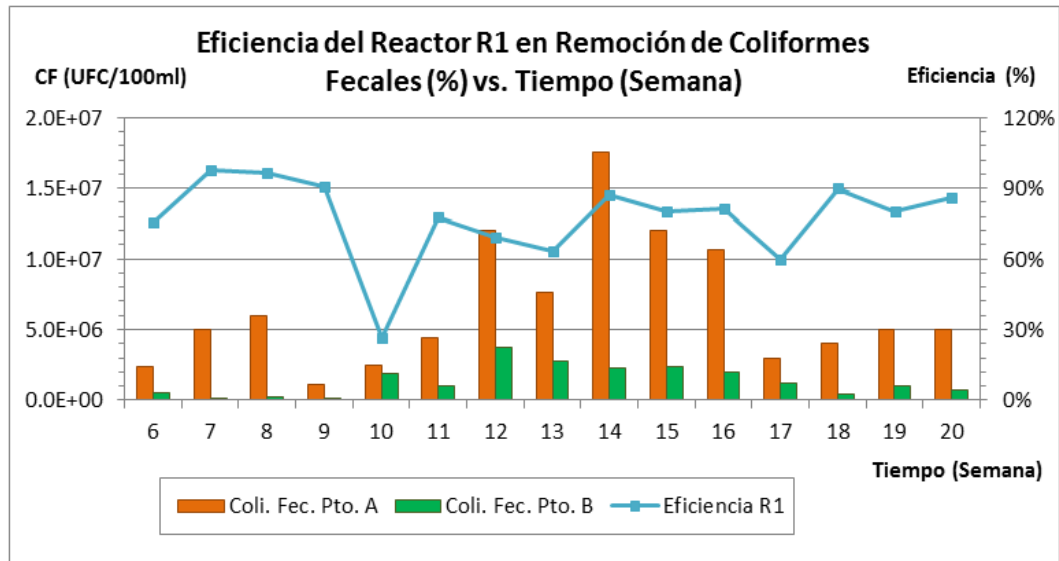
**Gráfico N° 7.41: Producción de lodos vs. Carga orgánica**

### 7.1.20 COLIFORMES FECALES

La eficiencia obtenida en remoción de coliformes fecales, no permitió obtener un efluente acorde a la legislación vigente. Al tener un tiempo de retención corto, el sistema DHS tipo bloques prismáticos no pudo remover la gran cantidad de enterobacterias que contienen las aguas residuales domésticas. La eficiencia total del sistema sólo estuvo entre los valores de 65 y 99%. Siendo las eficiencias en remoción variables para los reactores R1 y R2 durante todo el periodo de evaluación.

Cabe mencionar que la eficiencia del reactor R1 fue obtenida del grado de remoción entre los puntos de muestreo A y B; la eficiencia del reactor R2, entre los puntos B y C; y la eficiencia total del sistema DHS, entre los puntos A y C.

En el caso de la eficiencia en remoción de coliformes fecales del reactor R1 (Ver Gráfico N° 7.42) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 26.20% y una eficiencia en remoción máxima de 97.80% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 77.47% durante este periodo.



Donde:

*Coli. Fec. Pto. A.- Coliformes fecales en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)*

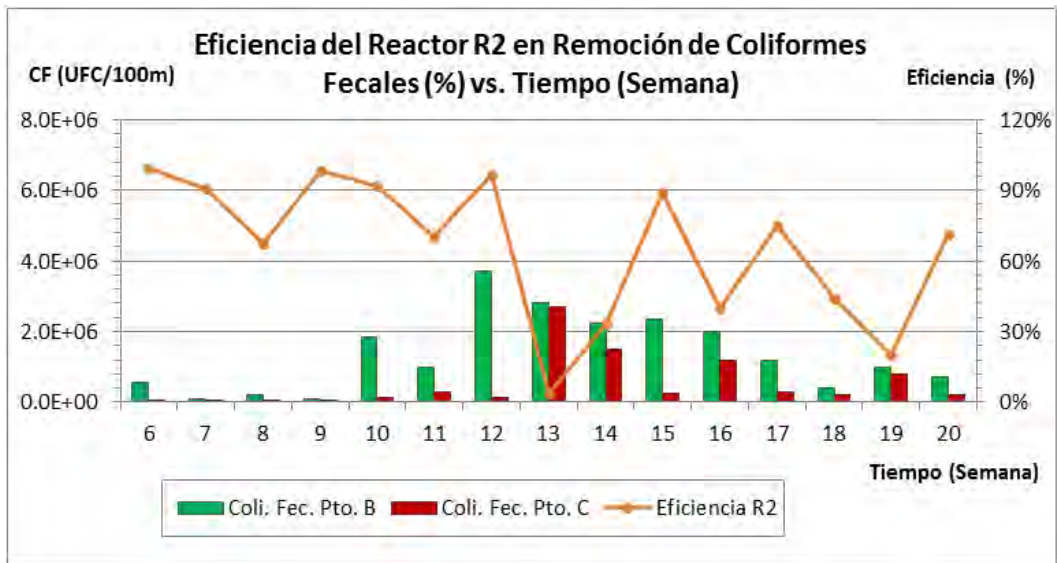
*Coli. Fec. Pto. B.- Coliformes fecales en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)*

*Eficiencia R1.- Eficiencia del Reactor R1 en remoción de coliformes fecales*

**Gráfico N° 7.42: Eficiencia del reactor R1 en remoción de coliformes fecales vs. Tiempo**

En el caso de la eficiencia en remoción de coliformes fecales del reactor R2 (Ver Gráfico N° 7.43) se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 3.57% y una eficiencia en remoción máxima de 99.12% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 66.04% durante este periodo.

Y en el caso de la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de coliformes fecales (Ver Gráfico N° 7.44), se obtuvo una eficiencia en remoción mínima de 64.71% y una eficiencia en remoción máxima de 99.84% a lo largo del periodo de evaluación. Siendo la eficiencia en remoción promedio de 92.78% durante este periodo.



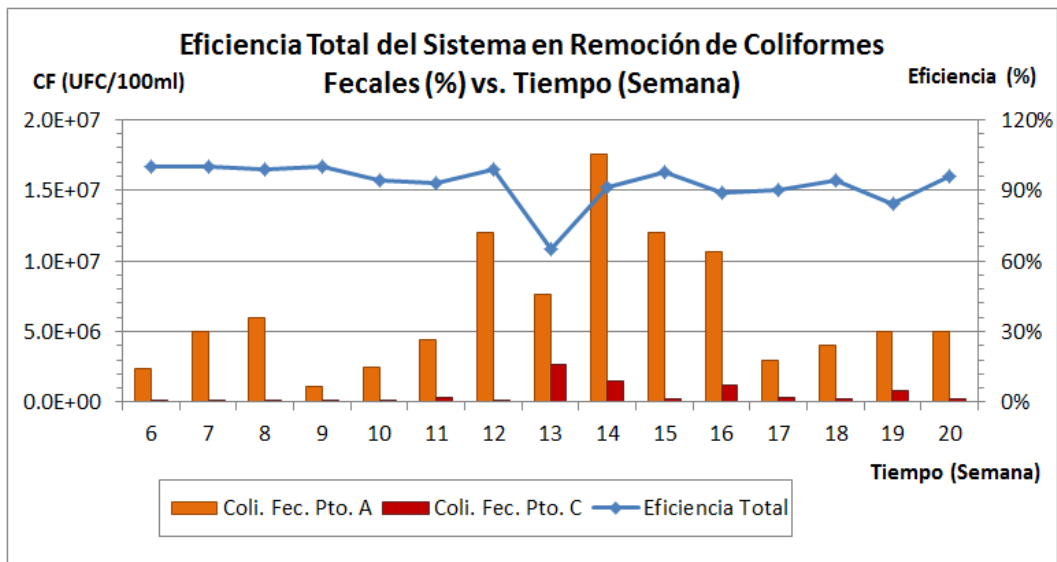
Donde:

Coli. Fec. Pto. B.- Coliformes fecales en el punto de muestreo B (Ingreso al Reactor R2)

Coli. Fec. Pto. C.- Coliformes fecales en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia R2.- Eficiencia del Reactor R2 en remoción de coliformes fecales

**Gráfico N° 7.43: Eficiencia del reactor R2 en remoción de coliformes fecales vs. Tiempo**



Donde:

Coli. Fec. Pto. A.- Coliformes fecales en el punto de muestreo A (Ingreso al Reactor R1)

Coli. Fec. Pto. C.- Coliformes fecales en el punto de muestreo C (Salida del Sedimentador)

Eficiencia Total.- Eficiencia total del Sistema DHS tipos bloques prismáticos

**Gráfico N° 7.44: Eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos en remoción de coliformes fecales vs. Tiempo**

## 7.2 DEL CUMPLIMIENTO DEL MARCO LEGAL

Una vez evaluados los resultados obtenidos mediante el sistema DHS tipo bloques prismáticos durante el periodo de evaluación; se procedió a compararlos de acuerdo a su frecuencia de monitoreo, diaria o semanal, y el marco legal vigente en nuestro país. (Ver Cuadro N° 7.1).

### 7.2.1 CON RESPECTO A LOS ECA's

De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones diarias se observa lo siguiente:

- El pH del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 8.40, mínimo de 6.26 y promedio de 7.44. Por lo que el valor promedio obtenido cumple con el rango establecido de 6.5 a 8.5 para este parámetro en los ECA's.
- El oxígeno disuelto del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 7.61 mg/L, mínimo de 3.09 mg/L y promedio de 4.87 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido sobrepasa el valor mínimo establecido de 4.00 mg/L para este parámetro en los ECA's.

Luego, de acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones semanales se observa lo siguiente:

- El pH del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 8.33, mínimo de 6.65 y promedio de 7.45. Por lo que el valor promedio obtenido cumple con el rango establecido de 6.5 a 8.5 para este parámetro en los ECA's.
- La conductividad del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 1355  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mínimo de 885  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y promedio de 1128  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Por lo que el valor promedio obtenido está por debajo del valor máximo establecido de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para este parámetro en los ECA's.

- El oxígeno disuelto del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 5.82 mg/L, mínimo de 3.48 mg/L y promedio de 4.91 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido sobrepasa el valor mínimo establecido de 4.00 mg/L para este parámetro en los ECA's.
- La demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 24.68 mg/L, mínimo de 7.50 mg/L y promedio de 14.89 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido está por debajo del valor máximo establecido de 15.00 mg/L para este parámetro en los ECA's.
- La demanda química de oxígeno total ( $DQO_{Total}$ ) del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 116.00 mg/L, mínimo de 35.00 mg/L y promedio de 75.50 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido no está por debajo del valor máximo establecido de 40.00 mg/L para este parámetro en los ECA's.
- La concentración de nitritos ( $NO_2-N$ ) en el efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 28.00 mg/L, mínimo de 2.00 mg/L y promedio de 12.29 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido no está por debajo del valor máximo establecido de 0.06 mg/L para este parámetro en los ECA's.
- La concentración de nitratos ( $NO_3-N$ ) en el efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 90.32 mg/L, mínimo de 40.65 mg/L y promedio de 61.07 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido no está por debajo del valor máximo establecido de 10.00 mg/L para este parámetro en los ECA's.
- En el caso de la concentración de nitritos y nitratos, los resultados obtenidos en el efluente del sistema DHS son mayores a los establecidos en los ECA's. Lo cual nos indica que es necesario seguir evaluando ambos parámetros y determinar el motivo o la interferencia que esté provocando estas concentraciones altas.
- La concentración de coliformes fecales o termotolerantes en el efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de

$2.7 \times 10^6$  UFC/100ml, mínimo de  $1.75 \times 10^3$  UFC/100ml y promedio de  $5.22 \times 10^5$  UFC/100ml. Por lo que el valor promedio obtenido no está por debajo del valor máximo establecido de  $1.0 \times 10^3$  NMP/100ml para este parámetro en los ECA's.

- En este caso, con la finalidad de cumplir con la normativa legal vigente de los ECA's para los coliformes fecales, sería recomendable implementar una unidad de cloración final al sistema DHS.

### 7.2.2 CON RESPECTO A LOS LMP's

De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones diarias se observa lo siguiente:

- La temperatura en el punto de muestreo del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 23.20 °C, mínimo de 16.20 °C y promedio de 19.03 °C. Por lo que el valor promedio obtenido está por debajo del valor máximo establecido de 35.0 °C para este parámetro en los LMP's.
- El pH del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 8.40, mínimo de 6.26 y promedio de 7.44. Por lo que el valor promedio obtenido cumple con el rango establecido de 6.5 a 8.5 para este parámetro en los LMP's.

Luego, de acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones semanales se observa lo siguiente:

- La temperatura en el punto de muestreo del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 21.41 °C, mínimo de 17.16 °C y promedio de 18.99 °C. Por lo que el valor promedio obtenido está por debajo del valor máximo establecido de 35.0 °C para este parámetro en los LMP's.



- El pH del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 8.33, mínimo de 6.65 y promedio de 7.45. Por lo que el valor promedio obtenido cumple con el rango establecido de 6.5 a 8.5 para este parámetro en los LMP's.
- Los sólidos totales en suspensión del efluente del sistema DHS obtuvieron un valor máximo de 124 mg/L, mínimo de 116 mg/L y promedio de 119 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido está por debajo del valor máximo establecido de 150 mg/L para este parámetro en los LMP's.
- La demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 24.68 mg/L, mínimo de 7.50 mg/L y promedio de 14.89 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido está por debajo del valor máximo establecido de 100.00 mg/L para este parámetro en los LMP's.
- La demanda química de oxígeno total ( $DQO_{Total}$ ) del efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de 116.00 mg/L, mínimo de 35.00 mg/L y promedio de 75.50 mg/L. Por lo que el valor promedio obtenido está por debajo del valor máximo establecido de 200.00 mg/L para este parámetro en los LMP's.
- La concentración de coliformes fecales o termotolerantes en el efluente del sistema DHS obtuvo un valor máximo de  $2.7 \times 10^6$  UFC/100ml, mínimo de  $1.75 \times 10^3$  UFC/100ml y promedio de  $5.22 \times 10^5$  UFC/100ml. Por lo que el valor promedio obtenido no está por debajo del valor máximo establecido de  $1.0 \times 10^4$  NMP/100ml para este parámetro en los LMP's.
- En este caso, con la finalidad de cumplir con la normativa legal vigente de los LMP's para los coliformes fecales, sería recomendable continuar con la investigación e incrementar el tiempo de retención del sistema para evaluar una posible mejora de la eficiencia en remoción de este parámetro.

**Cuadro N° 7.1: Cuadro Comparativo entre los Resultados obtenidos mediante el Sistema DHS tipo bloques prismáticos y el Marco Legal Vigente**

Parámetros Evaluados	Unidad	Medición Diaria <sup>(1)</sup>						ECA <sup>(5)</sup>	LMP <sup>(6)</sup>
		Afluente del Sistema DHS <sup>(3)</sup>			Efluente del Sistema DHS <sup>(4)</sup>			CATEGORIA 3	EFLUENTES DE PTAR
		Máx.	Min.	Prom.	Máx.	Min.	Prom.		
Temperatura en el punto de muestreo	°C	23.10	15.90	18.80	23.20	16.20	19.03	-	< 35
pH	Unidad	7.76	6.88	7.27	8.40	6.26	7.44	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Oxígeno disuelto	mg/L	3.76	0.30	2.27	7.61	3.09	4.87	> = 4	-

Parámetros Evaluados	Unidad	Medición Semanal <sup>(2)</sup>						ECA <sup>(5)</sup>	LMP <sup>(6)</sup>
		Afluente del Sistema DHS <sup>(3)</sup>			Efluente del Sistema DHS <sup>(4)</sup>			CATEGORIA 3	EFLUENTES DE PTAR
		Máx.	Min.	Prom.	Máx.	Min.	Prom.		
Temperatura en el punto de muestreo	°C	21.18	17.05	18.77	21.41	17.16	18.99	-	< 35
pH	Unidad	7.63	6.99	7.27	8.33	6.65	7.45	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	184.00	108.00	126.00	124.00	116.00	119.00	-	150
Conductividad	µS/cm	1461	989	1261	1355	885	1128	< 2000	-
Oxígeno disuelto	mg/L	2.82	1.34	2.25	5.82	3.48	4.91	> = 4	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	136.42	69.92	98.82	24.68	7.50	14.89	15	100
Demanda Química de Oxígeno Total (DQO Total)	mg/L	295.00	153.00	214.10	116.00	35.00	75.50	40	200
Nitritos (NO2-N)	mg/L como N	0.350	0.006	0.048	28.00	2.00	12.29	0.06	-
Nitratos (NO3-N)	mg/L como N	0.000	0.000	0.000	90.32	40.65	61.07	10	-
Coliformes fecales o termotolerantes	UFC/100ml	1.75E+07	1.10E+06	6.55E+06	2.70E+06	1.75E+03	5.22E+05	1.00E+03	1.00E+04

(1) Medición diaria.- La medición diaria representa los resultados obtenidos durante el día a lo largo de todo el periodo de evaluación. (Lun. a Vie. 9:30am-12:30pm-3:30pm).

(2) Medición semanal.- La medición semanal representa los resultados obtenidos durante un solo día de la semana a lo largo del periodo de evaluación. En el caso de la temperatura en el punto de muestreo, el pH y el oxígeno disuelto; este valor es el promedio de todas las mediciones diarias obtenidas durante una semana.

(3) Afluente del sistema DHS.- Representa el punto de muestreo A. Ingreso al reactor R1.

(4) Efluente del sistema DHS.- Representa el punto de muestreo C. Salida del Sedimentador.

(5) ECA.- ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA - Categoría 3. Riego de Vegetales y Bebida de Animales. Por Decreto Supremo N° 002-2008 MINAM.

(6) LMP.- LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES - Para Efluentes de PTAR. Por Decreto Supremo N° 003-2010 MINAM.

### 7.3 DEL ASPECTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Una vez evaluado el comportamiento del sistema DHS tipo bloques prismáticos durante el periodo de evaluación; se presenta el siguiente cuadro resumen (Ver Cuadro N° 7.2) con una guía operacional que establece las principales actividades para mejorar el proceso de control y asegurar una mayor vida útil del sistema.

**Cuadro N° 7.2: Cuadro Resumen de las Principales Actividades de Operación y Mantenimiento del Sistema DHS tipo Bloques Prismáticos**

Componente del Sistema DHS	Procedimiento Sugerido	Detalles	Frecuencia
Tanque de Almacenamiento	Limpiar las paredes del tanque de almacenamiento.	Es importante escobillar las paredes del tanque de almacenamiento para evitar la posible formación de películas gelatinosas.	Mensual
Distribuidor de Caudal	Limpiar el interior de las 10 mangueras de 1/8" que distribuyen el afluente para evitar su taponamiento.	Abrir y cerrar las 10 válvulas de plástico de 1/8" que posee el distribuidor de caudal.	Diaria
Medio filtrante	Revisar visualmente.	Revisar cualquier indicio de taponamiento, exceso de moscas y obstrucciones en la ventilación.	Diaria
Sedimentador	Limpieza general y retiro del lodo producido.	Limpiar las paredes del sedimentador y retirar el lodo antes de que entre en condiciones sépticas o que flote.	Semanal

Fuente: *Elaboración propia.*

## CAPITULO 8

### CONCLUSIONES

1. Con el sistema de tratamiento secundario *Downflow Hanging Sponge* (DHS) tipo bloques prismáticos, como post-tratamiento al reactor de tratamiento primario anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAMLFA), se alcanzaron eficiencias en remoción de carga orgánica mayores al 85% en aguas residuales domésticas; superando los resultados normalmente obtenidos mediante sistemas convencionales. No obstante, con las eficiencias alcanzadas en remoción de coliformes fecales, menores al 95%, no se supera a los sistemas convencionales, como las lagunas de estabilización.
2. El sistema de tratamiento secundario DHS tipo bloques prismáticos representa una tecnología de tratamiento moderna y apropiada para países en vías de desarrollo debido a su bajo costo, estructura simple y compacta, baja demanda de energía, por requerir bajos niveles de operación y mantenimiento y por representar un bajo riesgo a la salud.
3. Debido a que no requiere de aireación artificial, requiere de menos área de terreno y sólo produce aproximadamente 1.6 ml de lodo en exceso al día, en comparación con un sistema convencional de tratamiento secundario; la combinación entre el sistema RAMLFA-DHS puede ofrecer una de las mejores alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas a bajo costo y de bajo consumo de energía en países de clima tropical.
4. Para un caudal de diseño de 86.4L/día (equivalente a 1ml/seg) y un tiempo de retención hidráulico de 1.25horas, el volumen de material filtrante a necesitar en el sistema DHS tipo bloques prismáticos fue calculado en 19 050cm<sup>3</sup> de esponja. El cual, fue dividido en 20 columnas iguales de 50cm de largo, 5cm de ancho y 1.1/2" de espesor. Si se efectúa una estimación, por 864 000 L/día (equivalente al caudal de

CITRAR de 10 L/seg) de agua residual tratada en un reactor RAMLFA, se requerirán 2.2 m<sup>3</sup> de esponja (área superficial de 2.2m<sup>2</sup> y profundidad de 1.0m) aproximadamente. Lo cual significa que el reactor DHS ocuparía un área equivalente al 0.03% del área que actualmente ocupan las lagunas facultativas de CITRAR.

5. De los parámetros fisicoquímicos evaluados, se concluye que el sistema de tratamiento secundario DHS tipo bloques prismáticos, en promedio presenta eficiencias mayores al 80% en remoción de parámetros fisicoquímicos como turbiedad, demanda bioquímica de oxígeno, carga orgánica y alcalinidad. Así como el incremento de los niveles de oxígeno disuelto, aproximadamente hasta en un 115%.
6. Al encontrarse la temperatura en el punto de muestreo en un rango menor a 35 °C y el pH, en un intervalo de 6.5 a 8.5, fue posible la realización de los procesos biológicos de degradación de materia orgánica y de nitrificación, con el desarrollo de las bacterias heterótrofas y nitrificantes respectivamente.
7. La evaluación de la temperatura ambiental fue necesaria conjuntamente con la evaluación de la temperatura en el punto de muestreo, con la finalidad de determinar si existe o no, alguna relación entre ambas y de qué manera influyen en la eficiencia total del sistema DHS tipo bloques prismáticos.
8. De la evaluación diaria de la temperatura ambiental, se observó una temperatura ambiental mínima de 16.8°C durante el invierno y una temperatura ambiental máxima de 25.8°C durante la primavera. Y de la evaluación de la temperatura en el punto de muestreo, se observó una temperatura mínima de 15.9°C para el punto A y una temperatura máxima de 23.2°C para el punto C.
9. De la comparación entre la temperatura ambiental y la temperatura en los puntos de muestreo, se observó que estas mantienen la misma tendencia

a lo largo del periodo de evaluación, existiendo una diferencia promedio de 1.5°C entre ambas, debido al enfriamiento de las aguas residuales al encontrarse en una zona bajo techo.

10. Se demuestra que la diferencia entre la temperatura ambiental y la temperatura en los puntos de muestreo es variable dependiendo de las estaciones del año. Encontrándose una relación en promedio de 0.96 para el otoño, 0.94 para el invierno y 0.88 para la primavera; siendo esta relación, el cociente entre la temperatura en el punto de muestreo y la temperatura ambiental.
11. El potencial de hidrógeno (pH) en los puntos de muestreo incrementó levemente su valor semanal promedio de 7.27 a 7.45 durante el periodo de evaluación, probablemente debido a la degradación de la materia orgánica en el flujo mientras éste descendía por el material filtrante. Es decir, el efluente del sistema DHS tipo bloques prismáticos contó casi siempre con un pH mayor a del afluente del sistema.
12. Durante las semanas de invierno, la calidad del afluente al sistema DHS tipo bloques prismáticos sufrió algunas variaciones. Entre ellas, un ligero incremento en la concentración de algunos de parámetros; como la turbiedad, la  $DBO_5$ , la  $DQO_{Total}$  y la carga orgánica. Lo cual no significó un mayor problema, ya que los niveles de eficiencia en remoción de estos cuatro parámetros no se alteraron en más del 5%.
13. Los parámetros de sólidos totales y sólidos disueltos totales no obtuvieron los valores de eficiencia en remoción esperada. Por el contrario, durante la mayoría de las semanas del periodo de evaluación, su comportamiento fue variable y de incremento, en lugar de remoción; probablemente debido al arrastre de sólidos de la biopelícula adherida al material de soporte (esponja).
14. A medida que el flujo iba descendiendo por el material filtrante, la aireación natural por goteo del sistema DHS tipo bloques prismáticos

permitió el incremento en la concentración del oxígeno disuelto (OD). De la evaluación diaria de este parámetro se obtuvo que el afluente del sistema tuvo una concentración mínima de 0.30mg/L; y el efluente del sistema, una concentración máxima de 7.61mg/L.

15. Del mismo modo, la aireación natural por goteo del sistema DHS tipo bloques prismáticos permitió la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y de la demanda química de oxígeno total ( $DQO_{Total}$ ). Siendo de 84.93% la eficiencia en remoción promedio de  $DBO_5$ ; y de 63.87% la eficiencia en remoción promedio de  $DQO_{Total}$  durante el periodo de evaluación.
16. Del análisis de los tipos de DQO y de la composición en porcentajes de estos tipos sobre la DQO total en el afluente y el efluente del sistema DHS tipo bloques prismáticos; se observó que la DQO soluble representa el mayor porcentaje en la composición de la DQO total. Siendo en promedio, el 63.63% de la  $DQO_{Total}$  para el afluente y el 76.26% de la  $DQO_{Total}$  para el efluente durante el periodo de evaluación.
17. De la relación  $DQO_{total} / DBO_5$  se observa que tiene un valor promedio de 2.15 para el afluente del sistema y un valor promedio de 5.17 para el efluente del sistema. Lo cual nos indica que en el sistema DHS tipo bloques prismáticos, la degradación de la materia orgánica se da en mayor grado que la degradación de otros contaminantes.
18. Luego de la eficiencia en remoción del 87.34% de carga orgánica total para el sistema DHS tipo bloques prismáticos; se observó como producto del proceso de nitrificación, la formación de nitritos y nitratos. Siendo posible el proceso de nitrificación, debido a las bajas concentraciones de  $DBO_5$ , menores a 15 mg/L; y debido a los buenos niveles de oxígeno disuelto, mayores a 4.0 mg/L, en el efluente del sistema.
19. Durante la semana N° 22 del periodo de evaluación, se observó en el afluente y el efluente del sistema DHS tipo bloques prismáticos, el

consumo de la alcalinidad desde 328 mg/L de  $\text{CaCO}_3^-$  a 28 mg/L de  $\text{CaCO}_3^-$ , y una leve disminución en los valores del pH desde 7.61 a 6.74 como producto del proceso de nitrificación. Además se observó que mientras mayor sea la alcalinidad, menor será la presencia de nitritos o nitratos.

- 20.** La producción de lodos en el sistema DHS tipo bloques prismáticos fue en promedio de 1.69 ml/día para una carga orgánica entre 7.0 y 14.0 gramos DBO/día. Lo cual representa una ventaja en comparación con los sistemas convencionales de tratamiento secundario. Si se efectúa una estimación, por tratar 864 m<sup>3</sup>/día (equivalente al caudal de CITRAR de 10 L/seg), se formarían aproximadamente 0.0169 m<sup>3</sup>/día de lodo en exceso; es decir 0.5 m<sup>3</sup>/mes.
- 21.** De la determinación de los parámetros biológicos, se concluye que el sistema DHS tipo bloques prismáticos presenta una eficiencia promedio en remoción de coliformes fecales del 92.78%. La cual, no le es suficiente para cumplir con la normativa legal vigente (LMP:  $< 1.0 \times 10^4$  NMP/100ml) y por lo que necesitaría de un proceso de desinfección final (por ejemplo, una cloración o una laguna de maduración) en el efluente del sistema para una adecuada disposición final.
- 22.** De la identificación de microorganismos en el material filtrante se destacó la presencia de la especie díptera *Psychoda* spp. (mosca palomilla) en todos sus estados (huevo-pupa-larva).
- 23.** De la evaluación microscópica del material filtrante se pudo obtener como bio-indicador la presencia de protozoarios ciliados, rotíferos y algas. Los cuales contribuyeron y formaron parte de este ecosistema diverso para la degradación de la materia orgánica y la clarificación del efluente principalmente. El rango óptimo para el desarrollo de estos microorganismos estuvo entre 6.5 y 9.0.



- 24.** De la evaluación microscópica del lodo en exceso acumulado en el sedimentador, se encontró que más del 70% de los microorganismos observados fueron larvas de la especie díptera *Psychoda spp.* (mosca palomilla), debido básicamente a la acción de arrastre de biomasa del flujo, al descender por el material filtrante del sistema DHS tipo bloques prismáticos.
- 25.** De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones semanales para los diferentes parámetros evaluados, se concluye que el efluente del sistema DHS tipo bloques prismáticos cumple con la normativa legal de los ECA's para el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno. No obstante; no cumple con la normativa para la demanda química de oxígeno, la concentración de nitritos, de nitratos y de coliformes fecales.
- 26.** De acuerdo a los resultados obtenidos de las mediciones semanales para los diferentes parámetros evaluados, se concluye que el efluente del sistema DHS tipo bloques prismáticos cumple con la normativa legal de los LMP's para la temperatura en el punto de muestreo, el pH, los sólidos totales en suspensión, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno. No obstante; no cumple con la normativa para la concentración de coliformes fecales.

## CAPITULO 9

### RECOMENDACIONES

1. Para una adecuada operación del sistema de tratamiento secundario DHS tipo bloques prismáticos, es necesario controlar semanalmente el contenido del sedimentador y hacer su limpieza respectiva.
2. Es necesario realizar un adecuado mantenimiento de las mangueras del sistema distribuidor de caudal, con la finalidad de evitar la acumulación de sólidos en estas zonas.
3. Forrar todas aquellas zonas transparentes del reactor o de material acrílico que permitan el paso de la luz, con la finalidad de evitar el paso de la luz y la formación de algas en el material filtrante.
4. Colocar mallas de plástico en las zonas de aireación del sistema DHS tipo bloques prismáticos, antes y después del reactor R1, con la finalidad de evitar el ingreso de insectos o cualquier otro organismo que pueda perjudicar el adecuado funcionamiento del sistema.
5. Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y biológicos deberán tomarse las muestras durante el mismo día de la determinación. De tal forma que se puedan obtener resultados confiables.
6. Es necesario realizar el monitoreo de algunos parámetros de control, entre ellos la temperatura, el pH y la turbiedad, durante tres veces al día. Lo cual nos permitirá verificar el comportamiento del reactor y regular el caudal de funcionamiento de acuerdo a los parámetros de diseño.
7. Se recomienda continuar investigando el sistema DHS con otra calidad y con una disposición diferente para el material filtrante; a fin de evaluar las posibles variaciones de las eficiencias en la remoción de los diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos evaluados.

8. Finalmente, es necesario utilizar algunos equipos de protección personal, como guantes, mascarillas, lentes de seguridad y mandil para evitar el contacto directo con las muestras de agua residual; ya que estas son muy peligrosas y perjudiciales para la salud.

**CAPITULO 10****BIBLIOGRAFIA****A) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Murgel Samuel Branco (1969), **Hidrobiología aplicada a la Ingeniería Sanitaria**, 1ra. Edición, Sao Paulo, Brasil.
- American Public Health Association – APHA (1981), **Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 5th. Edition, Washington D.C., USA.
- Metcalf & Eddy (1991), **Wastewater Engineering – Treatment, disposal and reuse**, 3rd. Edition, New York, USA.
- Robert Barnes (1996), **Zoología de los Invertebrados**, 6ta. Edición, México D.F., México.
- Ministerio de Vivienda y Construcción (1997), **Norma de Saneamiento S.090: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales**, 1ra. Edición, Lima, Perú.
- Enrique Jimeno Blasco (1998), **Análisis de Aguas y Desagües**, 2da. Edición, Lima, Perú.
- Sergio Rolim Mendoza (1999), **Lagunas Aireadas Mecánicamente**, 1ra. Edición, Organización Panamericana de la Salud, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Enrique C. Valdez & Alba B. Vázquez (2003), **Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales**, 1ra. Edición, México D.F., México.

- José Ferrer Polo (2008), **Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales**, 1ra. Edición, México D.F., México.
- Pasic I. (1990), **Modified polyurethane carrier for biochemical wastewater treatment**, Water Science & Technology - IWA Publishing, London, UK.
- Draaijer H., Schaapman J.E. and Khan A. (1992), **Performance of the 5 MLD UASB reactor for sewage treatment at Kanpur India**, Water Science & Technology - IWA Publishing, London, UK.
- Alaerts G.J., Veenstra S., Bentvelsen M. and Van Duijl L.A. (1993), **Feasibility of anaerobic sewage treatment in sanitation strategies in developing countries**, Water Science & Technology - IWA Publishing, London, UK.
- Machdar I., Sekiguchi Y., Sumino H., Ohashi A., Harada H (2000), **Combination of a UASB and a Curtain Type DHS (Downflow Hanging Sponge) Reactor as a Cost-effective Sewage Treatment System for Developing Countries**, Department of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japón.
- Machdar I. (2001), **A novel sewage treatment system by a combination of UASB reactor and DHS (Downflow Hanging Sponge) reactor for developing countries**, Department of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japón.
- Uemura S., Takahashi K., Takaishi A., Machdar I., Ohashi A. and Harada H. (2002), **Removal of Indigenous Coliphages and Fecal Coliforms by a Novel Sewage Treatment System consisting of UASB and DHS units**, Department of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japón.

- Tandukar M., Uemura S., Machdar I., Ohashi A. and Harada H. (2005), **A Low-cost Municipal Sewage Treatment System with a Combination of UASB and the "fourth-generation" Downflow Hanging Sponge Reactors**, Department of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japón.
- Tandukar M., Machdar I., Uemura S., Ohashi A. and Harada H. (2006), **Potential of Combination of UASB and DHS Reactor as a Novel Sewage Treatment System for Developing Countries: Long-Term Evaluation**, Department of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japón.
- Tawfik A., Ohashi A. and Harada H. (2008), **Reclaimed Domestic Wastewater as sustainable Unconventional Water Resource**, Department of Environmental Engineering, Nagaoka University of Technology, Nagaoka, Japón.
- Hebert H. P. Pang (2010), **Environmental Anaerobic Technology: Applications and New Developments**, Imperial College Press, London, UK.
- Bhardwaj R.K., Sharma H. and Bhardwaj S.K. (2010), **DHS (Downflow Hanging Sponge) Bio-Tower a sustainable method for waste water treatment**, Department of Chemistry, Dyal Singh College, Karnal, India.
- Machdar I., Faisal M. (2011), **Modification of DHS Bioreactor Module with oil palm fiber material for treating domestic wastewater**, Department of Chemical Engineering, Syiah Kuala University, Banda Aceh, Indonesia.

**B) REFERENCIAS EN LA WEB**

- <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/1726/1/TREBALL8.pdf> (Último acceso: Julio 2012)
- <http://www.selba.org/EspTaster/Ecologica/Agua/Nitrificacion.html> (Último acceso: Julio 2012)
- <http://ento.psu.edu/extension/factsheets/es/es-moth-flies-in-the-home> (Último acceso: Julio 2012)
- <http://books.google.com.pe/books?id=WAYsni4st9QC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> (Último acceso: Mayo 2012)
- <http://www.aguamarket.com/diccionario/> (último acceso: Mayo 2012)
- [http://www.jst.go.jp/asts/asts\\_t2/thailand/200803/presentation/s2-1.pdf](http://www.jst.go.jp/asts/asts_t2/thailand/200803/presentation/s2-1.pdf) (Último acceso: Mayo 2012)
- [http://www.ambientum.com/revista/2002\\_05/BIODISCO1.asp](http://www.ambientum.com/revista/2002_05/BIODISCO1.asp) (Último acceso: Mayo 2012)
- <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=1161&nombreactivo=biodisco+tratamiento+aguas+residuales> (Último acceso: Mayo 2012)

**CAPITULO 11**

**ANEXOS**



**11.1 ANEXO N° 1: MARCO LEGAL**

**A) CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL PERÚ 1993****Artículo 66° y 68°**

Los recursos naturales renovables y no renovables son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento y es quien fija las condiciones de su utilización; determina la política nacional del ambiente y está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

**B) LEY DE REFORMA SOBRE DESCENTRALIZACIÓN: LEY N° 27680****Artículo 192° y 195°**

Los gobiernos regionales promueven el desarrollo, fomentan los servicios públicos de su responsabilidad en armonía con las políticas y planes nacionales y locales de desarrollo.

Tiene competencia para promover y regular actividades y/o servicios en materia de agricultura, saneamiento, salud y medio ambiente conforme a ley. Además, tiene competencia para organizar, reglamentar y administrar los servicios públicos locales de su responsabilidad.

**C) LEY GENERAL DE SALUD: LEY N°26842****Artículo 96° y 104°**

Los residuos procedentes de establecimientos donde que manipulen sustancias o productos peligrosos, deben ser sometidos al 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.

**D) 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 las 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 la 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 del grado de elementos, sustancias o 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 expresada en máximos, mínimos o rangos. Es obligatorio en el diseño de las normas legales y las 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 generales que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas.

#### **Artículo 120° De la protección de la calidad de las 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 las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, 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 las aguas como cuerpo receptor, ni que se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a los establecidos 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 o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia.

### **E) ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA AGUA: DECRETO SUPREMO N° 002-2008 MINAM**

El Ministerio del ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (Ver Cuadro N° 11.1), como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso.

**Cuadro N° 11.1: Estándares de Calidad Ambiental (ECA)****CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDAS DE ANIMALES**

<b>PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES DE TALLO BAJO Y TALLO ALTO</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>Fisicoquímicos</b>		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos - P	mg/L	1
Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> -N)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	> =4
pH	Unidad de pH	6,5 – 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
<b>Inorgánicos</b>		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5-6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Niquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	2
<b>Orgánicos</b>		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
<b>Plaguicidas</b>		
Aldicarb	ug/L	1

Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrin (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripoxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4

PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES.			
PARÁMETROS	Unidad	Vegetales Tallo Bajo	Vegetales Tallo Alto
		Valor	Valor
<b>Biológicos</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000(3)
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000	5 000(3)
Enterococos	NMP/100mL	20	100
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helmintos	huevos/litro	<1	<1(1)
<i>Salmonella</i> sp.		Ausente	Ausente
<i>Vibrio cholerae</i>		Ausente	Ausente

NOTA:

NMP/100: Número más probable en 100 mL

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo: Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo: Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

## F) DISPOSICIONES PARA LA IMPLEMENTACION DE LOS ECA PARA AGUA: DECRETO SUPREMO N° 023-2009 MINAM

### Artículo 2° y 7°

Aprueban disposiciones para implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua. A partir del 01 de Abril del 2010. Y hacen referencia a que precisa cada categoría de los ECA para agua. Así como cuáles son los cuerpos de agua que se encuentran exceptuados de la aplicación de los ECA.

## G) LIMITES MAXIMOS 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 efluentes o

emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente, el Ministerio del Ambiente publicó en el diario El Peruano el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, por el cual se aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), (Ver Cuadro N° 11.2) en el sector Vivienda.

### Artículo 3°

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

**Cuadro N° 11.2: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR**

Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10 000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

## H) LEY MARCO PARA EL CRECIMIENTO DE LA INVERSIÓN PRIVADA: DECRETO LEGISLATIVO N°757

Garantiza la libre iniciativa y las inversiones privadas en todos los sectores de la actividad económica y en cualquiera de las formas empresariales o contractuales permitidas por la Constitución y las Leyes.

### Artículo 53° y 55°

Las EPS deberán contar con la correspondiente certificación de que cumplen con las normas de calidad físico- químico y bacteriológico del agua potable y las condiciones de tratamiento de desagües para su disposición final. Los directores de dichas empresas, en caso de que las mismas no cuenten con los certificados de calidad con la periodicidad

requerida por el ministerio de salud, incurrirán en el delito previsto en el artículo 305 del código penal.

**I) LEY ORGÁNICA DE GOBIERNOS REGIONALES: LEY N° 27902**

Dentro de las funciones específicas de los gobiernos Regionales está el de formular, aprobar, ejecutar, dirigir, controlar y administrar los planes y políticas en materia ambiental y de ordenamiento territorial, implementando el Sistema de Gestión Ambiental en coordinación con las Comisiones Ambientales Regionales.

**J) LEY ORGÁNICA DE MUNICIPALIDADES: LEY N° 27972**

**Artículo 80° Saneamiento, Salubridad y Salud**

Las municipalidades en materia de saneamiento, salubridad y salud, tienen que ejercen las siguientes funciones. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales:

Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. Funciones compartidas de las municipalidades provinciales: Administrar y reglamentar directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado, cuando por economías de escala resulte eficiente centralizar provincialmente el servicio.

**Art. 141° Competencias adicionales**

Las municipalidades rurales, además de las competencias básicas, tienen a cargo aquellas relacionadas con la promoción de la gestión sostenible de los recursos naturales: suelo, agua, flora, fauna, biodiversidad, con la finalidad de luchar contra la degradación ambiental.

**K) LEY DE CREACION, ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES DEL MINAM: DECRETO LEGISTALIVO N° 1013.**

**Artículo 1° Finalidad de la ley**



Mediante esta ley se crea el Ministerio del Ambiente, establece su ámbito de competencia y regular su estructura orgánica y sus funciones.

### **Artículo 3° Objeto y objetivos específicos del Ministerio del Ambiente**

El objeto del Ministerio del ambiente es la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, y así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida.

### **Artículo 6° Funciones generales**

b) Garantiza el cumplimiento de las normas ambientales, realizando funciones de fiscalización, supervisión, evaluación y control, así como ejercer la potestad sancionadora en materia de su competencia y dirigir el régimen de fiscalización y control ambiental y el régimen de incentivos previsto por la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

### **Artículo 7° Funciones específicas**

d) Elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante decreto supremo.

e) Aprobar los lineamientos, metodologías, los procesos y los planes para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) en los diversos niveles de gobierno.

## **L) LEY DE RECURSOS HIDRICOS: LEY N° 29338 (2009)**

### **Título preliminar**

#### **Artículo II Finalidad**

La ley de recursos hídricos tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

**Artículo III Principios**

Principio de sostenibilidad: El Estado promueve y controla el aprovechamiento y conservación sostenible de los recursos hídricos previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno.

**Título I: Disposiciones generales****Artículo 5° El agua comprendida en la ley**

El agua cuya regulación es materia de la presente Ley comprende lo siguiente:

- 1.- La de los ríos y sus afluentes, desde su origen natural (...)
- 8.- La residual.

**Título II: Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos****Capítulo I: Finalidad e Integrantes****Artículo 9° Creación del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos**

Créase el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos con el objeto de articular el accionar del Estado, para conducir los procesos de gestión integrada y de conservación de los recursos hídricos en los ámbitos de cuencas, de los ecosistemas que lo conforman y de los bienes asociados; así como, para establecer espacios de coordinación y concertación entre las entidades de la administración pública y los actores involucrados en dicha gestión con arreglo a la presente Ley.

**Artículo. 10° Finalidad del Sistema Nacional de .Gestión de los Recursos Hídricos**

El Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y tiene por finalidad el aprovechamiento sostenible, la conservación y el incremento de los recursos hídricos, así como el cumplimiento de la política y estrategia nacional de recursos hídricos y el plan nacional de recursos hídricos en todos los niveles de gobierno y con la participación de los distintos usuarios del recurso.

### **Artículo 11° Conformación e integrantes del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos**

El Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos está conformado por el conjunto de instituciones, principios, normas, procedimientos, técnicas e instrumentos mediante los cuales el Estado desarrolla y asegura la gestión integrada, participativa y multisectorial, el aprovechamiento sostenible, la conservación, la preservación de la calidad y el incremento de los recursos hídricos.

Integran el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos:

1. La Autoridad Nacional;
2. los Ministerios del Ambiente; de Agricultura; de Vivienda, Construcción y Saneamiento; de Salud; de la Producción; y de Energía y Minas;
3. los gobiernos regionales y gobiernos locales a través de sus órganos competentes;
4. las organizaciones de usuarios agrarios y no agrarios;
5. las entidades operadoras de los sectores hidráulicos, de carácter sectorial y multisectorial;
6. las comunidades campesinas y comunidades nativas; y
7. las entidades públicas vinculadas con, la gestión de los recursos hídricos.

### **Capítulo IV: Funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales**

#### **Artículo 25° Ejercicio de las funciones de los gobiernos regionales y gobiernos locales**

Los gobiernos regionales y gobiernos locales, a través de sus instancias correspondientes, intervienen en la elaboración de los planes de gestión de recursos hídricos de las cuencas. Participan en los Consejos de Cuenca y desarrollan acciones de control y vigilancia, en coordinación con la Autoridad Nacional, para garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos. La infraestructura hidráulica mayor pública que transfiera el gobierno nacional a los gobiernos regionales es operada bajo los

lineamientos y principios de la Ley, y las directivas que emita la Autoridad Nacional.

### **Título III: Usos de los recursos hídricos**

#### **Artículo 34° Condiciones generales para el uso de los recursos hídricos**

El uso de los recursos hídricos se encuentra condicionado a su disponibilidad. El uso del agua debe realizarse en forma eficiente y con respeto a los derechos de terceros, de acuerdo con lo establecido en la Ley, promoviendo que se mantengan o mejoren las características físico-químicas del agua, el régimen hidrológico en beneficio del ambiente, la salud pública y la seguridad nacional.

### **Título IV: Derechos de uso de agua**

#### **Capítulo I: Disposiciones generales**

##### **Artículo 44° Derechos de uso de agua**

Para usar el recurso agua, salvo el uso primario, se requiere contar con un derecho de uso otorgado por la Autoridad Administrativa del Agua con participación del Consejo de Cuenca Regional o Interregional, según corresponda. Los derechos de uso de agua se otorgan, suspenden, modifican o extinguen por resolución administrativa de la Autoridad Nacional, conforme a ley.

##### **Artículo 45° Clases de derechos de uso de agua**

Los derechos de uso de agua son los siguientes:

1. Licencia de uso.
2. Permiso de uso.
3. Autorización de uso de agua.

#### **Capítulo III: Otros derechos de uso de agua**

##### **Artículo 59° Permiso de uso sobre aguas residuales**

El permiso de uso sobre aguas residuales, otorgado por la Autoridad Nacional, es un derecho de uso de duración indeterminada, mediante el cual se otorga a su titular la facultad de usar una determinada cantidad de agua variable, proveniente de filtraciones resultantes del ejercicio del

derecho de los titulares de licencias de uso. Los titulares de licencias que producen las filtraciones no son responsables de las consecuencias o de los perjuicios que puedan sobrevenir si variara la calidad, el caudal o volumen, u oportunidad o si dejara de haber sobrantes de agua en cualquier momento o por cualquier motivo.

#### **Título V: Protección del agua.**

##### **Artículo 73° Clasificación de los cuerpos de agua**

Los cuerpos de agua pueden ser clasificados por la Autoridad Nacional teniendo en cuenta la cantidad y calidad del agua, consideraciones hidrográficas, las necesidades de las poblaciones locales y otras razones técnicas que establezca.

##### **Artículo 75° Protección del agua**

La Autoridad Nacional, con opinión del Consejo de Cuenca, debe velar por la protección del agua, que incluye la conservación y protección de sus fuentes, de los ecosistemas y de los bienes naturales asociados a ésta en el marco de la Ley y demás normas aplicables. Para dicho fin, puede coordinar con las instituciones públicas competentes y los diferentes usuarios. La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca correspondiente, ejerce funciones de vigilancia y fiscalización con el fin de prevenir y combatir los efectos de la contaminación del mar, ríos y lagos en lo que le corresponda.

Puede coordinar, para tal efecto, con los sectores de la administración pública, los gobiernos regionales y los gobiernos locales. El Estado reconoce como zonas ambientalmente vulnerables las cabeceras de cuenca donde se originan las aguas. La Autoridad Nacional, con opinión del Ministerio del Ambiente, puede declarar zonas intangibles en las que no se otorga ningún derecho para uso, disposición o vertimiento de agua.

##### **Artículo 76° Vigilancia y fiscalización del agua**

La Autoridad Nacional en coordinación con el Consejo de Cuenca, en el lugar y el estado físico en que se encuentre el agua, sea en sus cauces naturales o artificiales, controla, supervisa, fiscaliza el cumplimiento de las

normas de calidad ambiental del agua sobre la base de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y las disposiciones y programas para su implementación establecidos por autoridad del ambiente.

También establece medidas para prevenir, controlar y remediar la contaminación del agua y los bienes asociados a esta. Asimismo, implementa actividades de vigilancia y monitoreo, sobre todo en las cuencas donde existan actividades que pongan en riesgo la calidad o cantidad del recurso.

#### **Artículo 79° Vertimiento de agua residual**

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.

En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la Autoridad Nacional debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la Autoridad Nacional suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas.

#### **Artículo 80° Autorización de vertimiento**

Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva, el cual debe contemplar los siguientes aspectos respecto de las emisiones:

1. Someter los residuos a los necesarios tratamientos previos.
2. Comprobar que las condiciones del receptor permitan los procesos naturales de purificación.

La autorización de vertimiento se otorga por un plazo determinado y prorrogable, de acuerdo con la duración de la actividad principal en la que se usa el agua y está sujeta a lo establecido en la Ley y en el Reglamento.

#### **Artículo 81° Evaluación de impacto ambiental**

Sin perjuicio de lo establecido en la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, para la aprobación de los estudios de impacto ambiental relacionados con el recurso hídrico se debe contar con la opinión favorable de la Autoridad Nacional.

#### **Artículo 82° Reutilización de agua residual**

La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.

El titular de una licencia' de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere, autorización. La distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca.

#### **Artículo 83° Prohibición de vertimiento de algunas sustancias**

Está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación. La Autoridad Ambiental respectiva, en coordinación con la Autoridad Nacional, establece la relación de sustancias prohibidas.

### **Título VI: Régimen económico por el uso del agua**

#### **Artículo 92° Retribución económica por el vertimiento de agua residual**

La retribución por el vertimiento de agua residual es el pago que el titular del derecho efectúa por verter agua residual en un cuerpo de agua receptor. Este pago debe realizarse en función de la calidad y volumen del vertimiento.

## **Título XII: Las infracciones y sanciones**

### **Artículo 120° Infracción en materia de agua**

Constituye infracción en materia de agua, toda acción u omisión tipificada en la presente Ley. Constituyen infracciones las siguientes:

1. Utilizar el agua sin el correspondiente derecho de uso;
4. afectar o impedir el ejercicio de un derecho de uso de agua;
5. dañar u obstruir los cauces o cuerpos de agua y los correspondientes bienes asociados;
8. contaminar el agua transgrediendo los parámetros de calidad ambiental vigentes;
9. realizar vertimientos sin autorización;
10. arrojar residuos sólidos en cauces o cuerpos de agua natural o artificial.

### **Artículo 121° Calificación de las infracciones**

Las infracciones en materia de agua son calificadas como leves, graves y muy graves, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Afectación o riesgo a la salud de la población;
5. impactos ambientales negativos, de acuerdo con la legislación vigente;
6. reincidencia; y
7. costos en que incurra el Estado para atender los daños generados.

### **Artículo 122° Tipos de sanciones**

Concluido el procedimiento sancionador, la autoridad de aguas competente puede imponer, según la gravedad de la infracción cometida y las correspondientes escalas que se fijan en el Reglamento, las siguientes sanciones administrativas:

1. Trabajo comunitario en la cuenca en materia de agua o
2. multa no menor de cero coma cinco (0,5) Unidades Impositivas Tributarias (UIT) ni mayor de diez mil (10000) UIT.



**Artículo 125° Responsabilidad civil y penal**

Las sanciones administrativas que la Autoridad Nacional imponga son independientes de la responsabilidad de naturaleza civil o penal correspondiente.

**M) RESOLUCION JEFATURAL N°0291-ANA**

Mediante esta resolución, se establece los requisitos y procedimientos para el otorgamiento de autorización de vertimientos y reuso de aguas residuales.

**Artículo 1°: Disposición para implementar el otorgamiento de autorización de vertimiento y reuso de aguas residuales industriales tratadas.**

1.1.- El procedimiento administrativo para implementar el otorgamiento de autorización de vertimientos y reusos de aguas residuales industriales tratadas, se inicia ante la Autoridad Nacional del Agua, para cuyo efecto el administrado presentará, tres ejemplares de los siguientes requisitos:

Requisitos generales.

Requisitos Específicos para vertimientos.

- Tratándose de Vertimientos en curso.
- Tratándose de Vertimientos nuevos.

Requisitos Específicos para reusos.

- Tratándose de Proyectos de reuso en curso.
- Tratándose de Proyectos de reuso nuevos.

**Artículo 2°: Disposición para implementar el otorgamiento de autorización de vertimiento y reuso de aguas residuales industriales tratadas.**

2.1.- El procedimiento administrativo para implementar el otorgamiento de autorización de vertimientos y reusos de aguas residuales domésticas o municipales tratadas, se inicia ante la Autoridad Nacional del Agua, para cuyo efecto el administrado presentará, tres ejemplares de lo siguiente:

Requisitos generales.

Requisitos Específicos para vertimientos.

- Tratándose de Vertimientos en curso.
- Tratándose de Vertimientos nuevos.

Requisitos Específicos para reusos.

- Tratándose de Proyectos de reuso en curso.
- Tratándose de Proyectos de reuso nuevos.

**Artículo 6°: Disposiciones para tramitación de procedimientos antes de la entrada en vigencia de la Ley N° 29338 (Ley de Recursos Hídricos).**

Precísese que los procedimientos administrativos de autorizaciones de vertimientos y reusos de aguas residuales tratadas iniciados antes de la entrada en vigencia de la Ley N° 29338 se rigen por la legislación vigente a esa fecha hasta su conclusión.

**Disposiciones Complementarias**

**Primera.- Plazo de las autorizaciones de vertimientos y reusos de aguas residuales tratadas.**

El plazo de vigencia de las resoluciones de autorización de vertimientos y reusos de aguas residuales tratadas, está en función a la magnitud del proyecto y no podrá ser menos de dos años ni mayor de seis años. Rigen a partir del inicio de operaciones de los respectivos proyectos. En todo caso, la autorización caduca si en un plazo igual al de la autorización de vertimiento o reuso según corresponda, no se da inicio a las operaciones del proyecto.

**Segunda.- Autorizaciones de vertimientos de aguas residuales tratadas en aguas marítimas.**

Tratándose de autorizaciones de vertimiento de aguas residuales tratadas en aguas marítimas, deberá presentarse la autorización correspondiente emitida por la Dirección de Capitanías y Guardacostas del Perú - DICAPI

**Cuarta.- Autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas.**

Para autorizaciones de reuso de aguas residuales tratadas, en tanto no exista normatividad de calidad, se aplican las directrices Sanitarias de la Organización Mundial de Salud – OMS u otras normas internacionales que el Ministerio de Salud establezca.

#### **N) RESOLUCION JEFATURAL N°0351-ANA**

Mediante esta resolución, se modifica la R.J. N°0291-2009-ANA referente al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reusos de aguas residuales tratadas.

#### **Artículo único: Modifíquese el artículo 7 de la Resolución Jefatural N° 0291-2009-ANA**

Para efectos de la aplicación de lo establecido en el artículo 4 de la presente resolución (Disposiciones sobre clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo a su calidad), deberá adoptarse la clasificación de los cuerpos establecida en la Resolución Directoral N° 1152-2005-DIGESA/SA, hasta el 31 de marzo 2010.

Las solicitudes de autorización de vertimientos de aguas residuales o renovaciones que se presenten a partir del 01 de abril del 2012, se otorgarán tomándose en cuenta obligatoriamente los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua aprobados por el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM.

En este caso las bahías y otras formaciones en el mar, en las que se realicen vertimientos de aguas residuales, deberán ser consideradas en la Categoría 2: Actividades Marino Costeras, Sub-categoría 3: Otras Actividades, aprobados por el precitado Decreto Supremo. La calidad del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, deberá cumplir con los parámetros señalados para esta categoría.

La zona de medición para verificar el cumplimiento de los valores referidos en el presente artículo, no excederá los 300 metros mar adentro a partir de la línea de baja marea.

**O) TUPA MINSA Y SUS ÓRGANOS DESCONCENTRADOS: D.S. N° 013-2009-SA**

Unifica y estandariza los procedimientos administrativos que se siguen ante las distintas instancias del MINSA, sus órganos desconcentrados y organismos públicos descentralizados.

**P) LEY DEL SISTEMA NACIONAL DE EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL: LEY N° 27446**

Por la presente ley se da la creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de proyectos de inversión.

**Artículo 1° Objeto de la ley**

La presente ley tiene como finalidad:

La creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto ambiental (SEIA), como un sistema único coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.

**Artículo 5° Criterios de protección ambiental**

Para efectos de la clasificación de los proyectos de inversión que queden comprendidos dentro del SEIA, la autoridad competente deberá ceñirse a los siguientes criterios:

b) La protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos, y emisiones gaseosas y radiactivas.

c) La protección de los recursos naturales, especialmente las aguas, el suelo, la flora y la fauna.

**Artículo 15° Seguimiento y control**

La autoridad competente será responsable de efectuar la función de seguimiento, supervisión y control de la evaluación del impacto ambiental, aplicando las sanciones administrativas a los infractores.

El seguimiento, supervisión y control se podrá ejecutar a través de empresas o instituciones que se encuentren debidamente calificadas e inscritas en el registro que para el efecto abrirá la autoridad competente.

Las empresas o instituciones que elaboren los estudios de impacto ambiental no podrán participar en la labor de seguimiento, supervisión y control de los mismos.

**Q) LEY GENERAL DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO. LEY N° 26338**

Ley que regula la prestación de los servicios de saneamiento en los ámbitos rurales y urbanos.

**Artículo 4°, 8° y 9°**

Corresponde al estado a través de sus entidades competentes regular, supervisar la prestación de servicios de saneamiento así como establecer los derechos y obligaciones de las EPS y proteger los derechos de los usuarios a través de sus organismos reguladores: Ministerio de la Presidencia – Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

**Artículo 10°**

Uno de los sistemas que integran los servicios de saneamiento es el Servicio de Alcantarillado Sanitario y Pluvial al que le corresponde el tratamiento y disposición de las aguas servidas.

**R) REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE SERVICION DE SANEAMIENTO: D.S. N° 09-95-PRES**

**Capítulo I: De la prestaciones de servicios**

**Artículo 17°**

Los niveles de calidad del servicio, serán establecidos por la superintendencia para cada EPS y en los siguientes aspectos:

- Calidad del agua potable, continuidad del suministro, modalidad de distribución.
- Modalidad de disposición de las aguas servidas o de la eliminación de excretas.
- Calidad del efluente de modo que no afecte las condiciones del cuerpo receptor y del medio ambiente.

### **Capítulo III: De las funciones, derechos y obligaciones de las entidades prestadoras en general.**

#### **Artículo 55°**

Las EPS, de acuerdo con la Ley General tienen las siguientes Funciones:

- La recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas, recolección de las aguas pluviales y disposición sanitaria de excretas.
- La operación, mantenimiento y renovación de las instalaciones y equipos utilizados en la prestación de los servicios de saneamiento de acuerdo a las normas técnicas correspondiente a lo establecido en el presente Reglamento.
- La prestación de los servicios, en los niveles y demás condiciones establecidas en el reglamento de prestación de servicios, la normatividad vigente y contrato de explotación.
- La formulación y ejecución de los planes maestros.
- El asesoramiento en aspectos técnicos y administrativos a las localidades del ámbito rural de su responsabilidad.
- La aprobación y supervisión de los proyectos a ser efectuados por terceros, dentro de su ámbito de responsabilidad.

#### **Artículo 56°**

Son derechos de la EPS lo siguiente:

- Cobrar por el servicio de prestado de acuerdo al sistema tarifario establecido en la Ley el reglamento de Servicio de saneamiento.

- Cobrar moras y suspender el servicio en caso de incumplimiento de pago durante 2 meses consecutivos.
- Anular conexiones clandestinas, cobrar por daños de bienes de la empresa.
- Percibir contribuciones con carácter reembolsable, para financiar ampliaciones de los servicios.

## **S) DIRECTIVA N° 180-97 SUNASS**

### **Medidas inmediatas para evitar la Propagación del cólera y otras enfermedades.**

#### **5.- Obligaciones Específicas de las EPS**

- Mantener en buenas condiciones operativas las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Dotar a las plantas de tratamiento de aguas residuales de las instalaciones necesarias para la higiene del personal.
- Denunciar ante las autoridades competentes a los que extraigan ilícitamente las aguas residuales del sistema de alcantarillado.
- Controlar la calidad del agua residual tratada, de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.
- Definir la zona de influencia de las descargas de agua residuales a través del monitoreo del curso o cuerpo receptor de esta agua, e informar mediante anuncios o carteles ubicadas en zonas cercanas sobre la peligrosidad del uso de estos cursos o cuerpos receptores con fines recreacionales, agrícola o de pesca. Las EPS deberá denunciar ante las autoridades el uso de las aguas residuales para los fines indicados.
- Las EPS deben establecer un estricto control en los emisores principales para conocer la tendencia de la presencia del bacilo cólera.

**T) CÓDIGO DEL MEDIO AMBIENTE: D.L. °613****Artículo 107° Competencia sobre la calidad de las aguas**

Es de responsabilidad del ministerio de Salud garantizar la calidad del agua para consumo y en general, para las demás actividades en que su uso es necesario.

**Artículo 113° y 114° Infracciones y Sanciones Administrativas**

La violación de las normas que contiene este código y las disposiciones que emanen de él constituyen infracciones administrativas y serán sancionadas por la autoridad competente. Las infracciones de las normas ambientales, son sujeto pasible de las siguientes sanciones administrativas:

- Multa de 0.5 a 200 UIT, si existe internamiento de residuos tóxicos peligrosos.
- Imposición de obligaciones compensatorias.
- Suspensión o cancelación de licencia de funcionamiento al que genero la infracción.

**U) RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 0030-84.S.A./DVM****Artículo 1° y 4°**

La autoridad sanitaria delega al ministerio de agricultura (Administradores técnicos de Distritos de riego) las funciones de control, vigilancia y sanción por la utilización de las aguas servidas con fines de irrigación; las multas que se apliquen se abonarán al Banco de la Nación a la cuenta del Ministerio de Salud – Dirección general de medio ambiente.

**V) CODIGO PENAL: D.L. N° 635**

**Título XIII: Delitos contra la ecología.**

**Capítulo único: Delitos contra los recursos naturales y el medio ambiente.**

**Artículo 304° Contaminación del ambiente**



El que, infringiendo las normas sobre protección del medio ambiente, lo contamina vertiendo residuos sólidos, líquidos, gaseosos o de cualquier otra naturaleza por encima de los límites establecidos, y que causen o puedan causar perjuicio o alteraciones en la flora, fauna y recursos hidrobiológicos, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de tres años o con ciento ochenta a trescientos sesenta y cinco días-multa. Si el agente actuó por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de un año o prestación de servicio comunitario de diez a treinta jornadas.

#### **Artículo 305° Formas agravadas**

La pena será privativa de libertad de 2 a 4 años y con trescientos sesenta y cinco a setecientos treinta días – multa cuando:

- Los actos previstos en el artículo 304 ocasionan peligro para la salud de las personas o para sus bienes.
- El agente actuó clandestinamente en el ejercicio de su actividad.
- Los actos contaminantes afectan gravemente los recursos naturales que constituyen la base de la actividad económica.

Si como efecto de la actividad contaminante, producen lesiones graves o muerte la pena será:

- Privativa de libertad no menor de tres ni mayor de seis años y de trescientos sesenta y cinco a setecientos días multa en caso de lesiones graves.
- Privativa de libertad no menor de cuatro ni mayor de ocho años y de setecientos treinta a mil cuatrocientos sesenta días – multa en caso de muerte.

#### **Artículo 307° Incumplimiento de normas sanitarias**

El que deposita, comercializa o vierte desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados o sin cumplir con las normas sanitarias y de protección del Medio Ambiente, será privado de libertad no mayor de 02 años. Si el agente es funcionario público, la pena será no menor de uno ni mayor de tres años, e inhabilitación e uno a dos años.

## **ENTIDADES INVOLUCRADAS**

### **A) MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM)**

Fue creado el 14 de mayo de 2008, mediante Decreto Legislativo N° 1013, como ente rector del sector ambiental nacional, que coordina en los niveles de gobierno local, regional y nacional. Se encarga de asegurar el cumplimiento del mandato constitucional sobre la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas y el desarrollo sostenible de la Amazonía. Asegura la prevención de la degradación del ambiente y se los recursos naturales y revertir los procesos negativos que los afecta.

### **B) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA)**

La autoridad Nacional del Agua es el organismo encargado de realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas, en el marco de la gestión integrada de los recursos naturales y de la gestión de la calidad ambiental nacional estableciendo alianzas estratégicas con los gobiernos regionales, locales y el conjunto de actores sociales y económicos involucrados. Tiene como principales funciones formular la política y estrategia nacional de recursos hídricos, administrar y formalizar los derechos de uso de agua, distribuirla equitativamente, controlar su calidad y facilitar la solución de conflictos.

### **C) MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAG)**

Otorga licencias para uso de aguas superficiales, subterráneas y otras licencias para uso de aguas residuales.

### **D) MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS (MEF)**

Aprueba presupuestos de EPS y SUNASS. Aprueba y canaliza los fondos de inversión.

**E) MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN**

Regula la calidad de las descargas industriales en los sistemas de alcantarillado.

**F) MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO**

Responsable del sector saneamiento, regula los estándares de diseño y las especificaciones técnicas de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (RNE - Título II y III)

**G) SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIO DE SANEAMIENTO (SUNASS)**

Organismo regulador y fiscalizador de la prestación de los servicios de saneamiento en el Perú. Establece las condiciones generales de la prestación del servicio. Fiscaliza el cumplimiento de las normas fijación tarifaria. Supervisa las EPS urbanas debidamente registradas.

**H) MINISTERIO DE SALUD (MINSA)**

Es la autoridad sanitaria que regula la calidad del agua para consumo humano, autoriza vertimientos, aprueba proyectos de plantas de tratamiento de agua potables y de aguas residuales, formula políticas y dicta las normas de calidad sanitaria y protección ambiental, a través de DIGESA, ejerce vigilancia de la calidad del agua.

**11.2 ANEXO N° 2: PANEL FOTOGRÁFICO**



**Fotografía N° 11.1 Toma de Muestra en el Punto C**



**Fotografía N° 11.2 Preparación de Diluciones para la Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno**



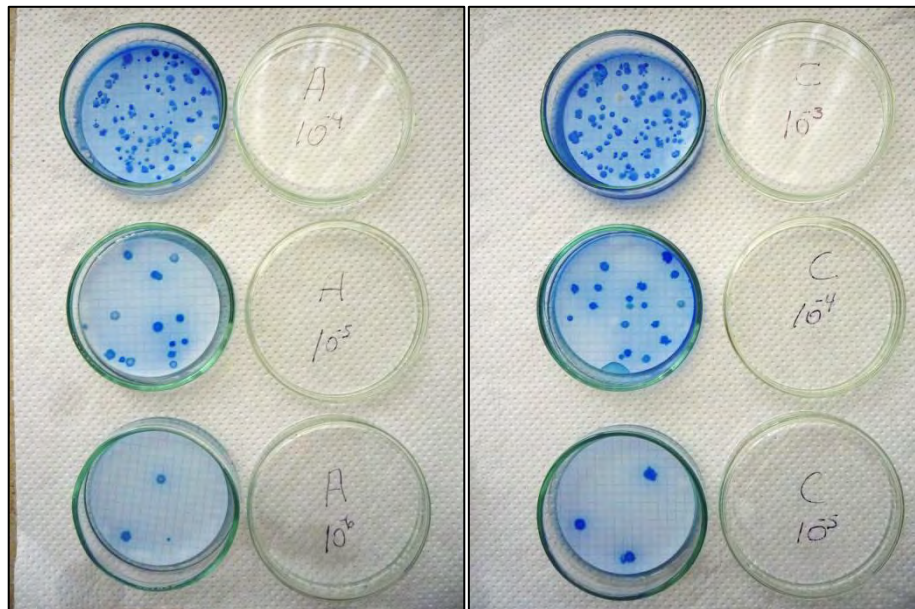
Fotografía N° 11.3 Tesistas durante la Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Totales



Fotografía N° 11.4 Determinación del Oxígeno Disuelto en los Puntos de muestreo A, B y C mediante el Método de Winkler



Fotografía N° 11.5 Muestras obtenidas del material filtrante (esponja) de los Reactores R1 (izquierda) y R2 (derecha)

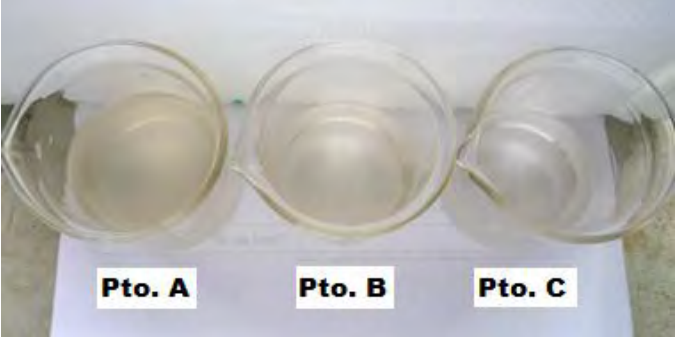

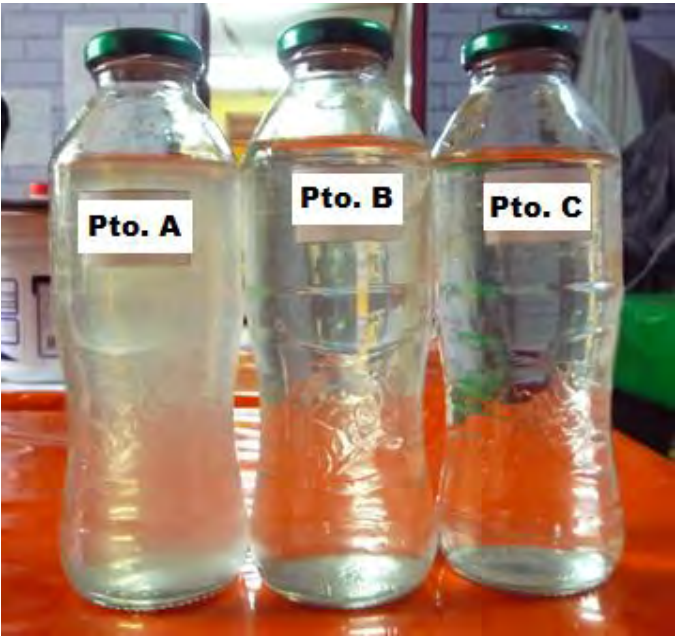




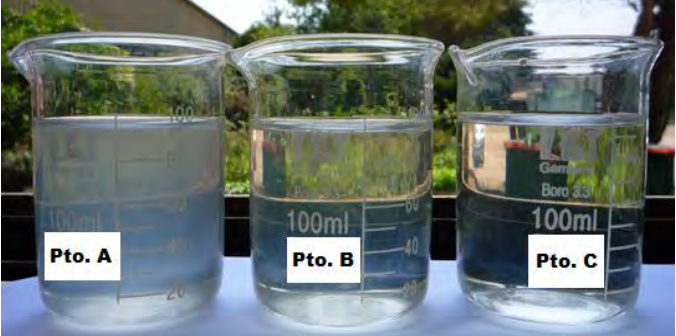
Fotografía N° 11.6 Resultados obtenidos durante la Determinación de Coliformes Fecales en el Afluente (izquierda) y el Efluente (derecha) del Sistema DHS tipo Bloques Prismáticos

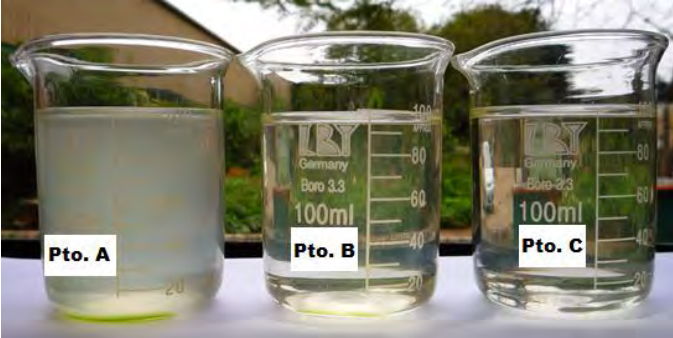

**11.3 ANEXO N° 3: IMÁGENES DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**



**Cuadro N° 11.3: Imágenes de los Resultados obtenidos durante los Muestreos Semanales**

Semana	Muestreo	Observaciones
Semana 01		<p>Desde la primera semana el sistema obtuvo una buena eficiencia.</p>
Semana 04		<p>Durante esta semana se observó un afluente con mayor turbiedad.</p>
Semana 06		<p>Durante esta semana se observó un incremento en la eficiencia del reactor R1.</p>

Semana	Muestreo	Observaciones
Semana 08		<p>Durante esta semana la eficiencia del sistema disminuyo debido a la calidad del afluente.</p>
Semana 15		<p>Durante esta semana la eficiencia del sistema se incrementó.</p>
Semana 16		<p>Durante esta semana se observó una buena eficiencia.</p>

Semana	Muestreo	Observaciones
Semana 19		Durante esta semana se observó la aparición de algas en el afluente.
Semana 20		Durante esta semana la eficiencia del sistema mejoró.