

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES  
DE UN CAMAL, MEDIANTE UN SISTEMA DE LODOS  
ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO”**

**TESIS**

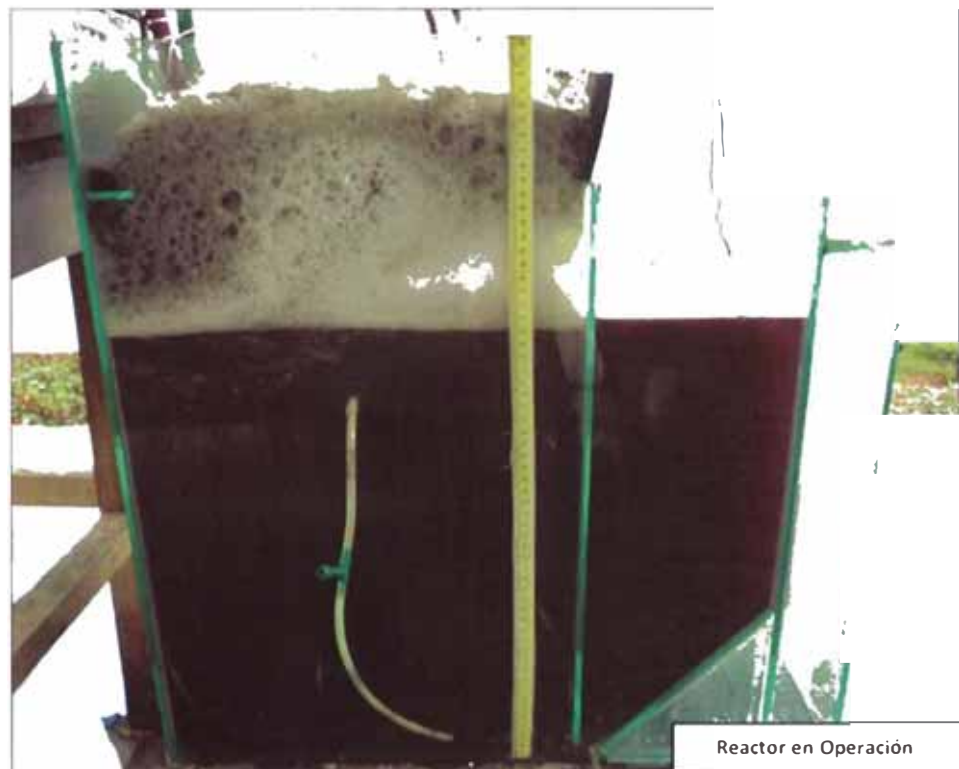
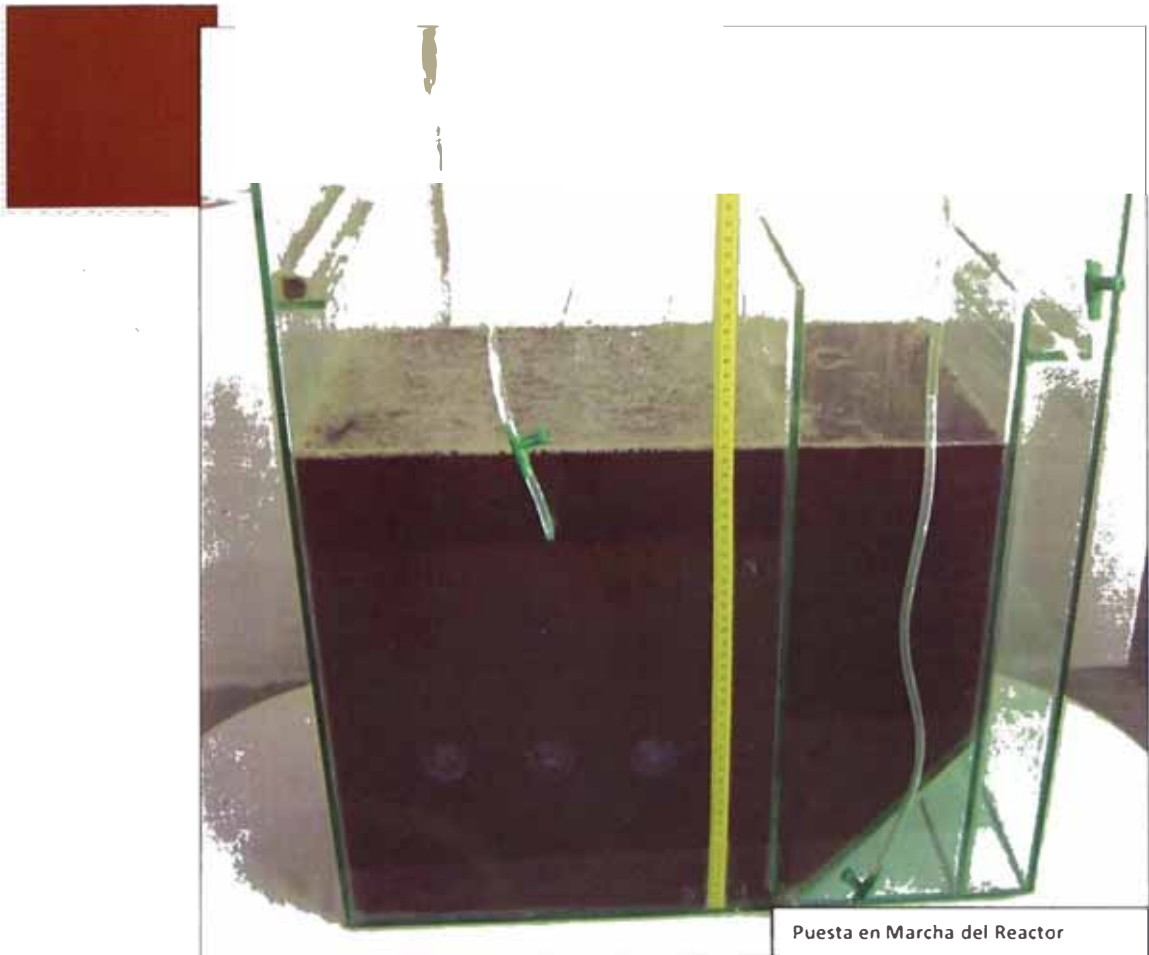
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO SANITARIO**

**PRESENTADO POR:**

**JORGE JESUS RUBIO BEDREGAL  
RÓMULO ALBERTO PADILLA MISAJEL**

**LIMA, PERÚ  
2009**



**“PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
PROVENIENTES DE UN CAMAL MEDIANTE UN  
SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE  
LABORATORIO”**

## RESUMEN

El agua residual proveniente del área de beneficio del camal, se caracteriza por presentar alto contenido de materia orgánica en términos de DBO<sub>5</sub> y DQO. La descarga de estos efluentes sin tratamiento a cuerpos receptores como agua y/o suelo, ocasiona un impacto ambiental negativo.

Por eso el objetivo de este estudio fue tratar experimentalmente 30lt/día de agua residual proveniente del área de beneficio del camal, mediante el proceso de lodos activados a escala de laboratorio, con la finalidad de determinar los parámetros de diseño y la eficiencia de remoción del reactor biológico con relación a los siguientes parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, ST, SST, SSV, SS, Aceites y Grasas, Coliformes Totales y Fecales.

Estas aguas residuales fueron captadas en una caja de registro, el volumen captado fue de 50lt/día, en diferentes días y durante las 8 semanas de monitoreo. Estas aguas captadas se hacían pasar por un colador de Ø10" y 2mm de separación entre hilos metálicos que conforman la malla, con la finalidad de atrapar los sólidos gruesos y finos.

En el crudo los valores de DBO<sub>5</sub> variaron entre 3,266.70mg/lit y 2,725.00mg/lit; y DQO entre 8,810.00mg/lit y 3,912.00mg/lit.

Luego este volumen fue llevado y vertido al tanque de homogenización de 60lt, en el cual se daba vueltas manualmente con una paleta y con la llave esférica abierta pasaba el agua residual al sedimentador primario de 40lt. En esta unidad de tratamiento primario, el tiempo de retención hidráulico promedio fue de 18 horas. Después de este tiempo se obtuvieron valores de DBO<sub>5</sub> entre 945.00mg/lit y 2,850.00mg/lit; de DQO entre 1,900.00mg/lit y 4,568.00mg/lit

Posteriormente el agua residual proveniente del sedimentador primario, pasaba al reactor biológico, en el cual el lodo se mezclaba con el agua residual en proporción de 1 a 3, y se aireaba con difusores ubicados de tal forma, que se

logre una buena transferencia de aire. El tiempo de retención hidráulico en esta unidad fue de 4 horas.

Luego, el agua tratada pasaba al sedimentador secundario, en el cual su tiempo de retención fue de 1.00 hora. En esta unidad se obtuvieron valores de  $\text{DBO}_5$  entre 550.00 mg/lit y 2,550.00 mg/lit; de DQO entre 952.00 mg/lit y 3,373.00 mg/lit.

Luego de todo el proceso de monitoreo se obtuvieron los siguientes parámetros óptimos de operación: TRH 4 horas, F/M entre 0.37 y 4.73 Kg de DQO/ Kg de SSVLM x día, Velocidad de Carga Orgánica entre 1.69 y 4.57 kg DQO /m<sup>3</sup>.día y con una edad de lodo de 11 días. El sistema logró remover hasta 53.59% de materia orgánica expresada como  $\text{DBO}_5$  y 48.72%, expresada como DQO. También se obtuvieron eficiencias en SST y SSV de 53.04% y 99.53%; Aceites y Grasas entre 0.00% y 57.14%; Coliformes Totales entre 99.30% y 27.27% y Coliformes Fecales entre 99.30% y 27.27%.

Los resultados obtenidos en el presente estudio permiten concluir que a través de un tratamiento biológico mediante lodos activados al agua residual proveniente del área de beneficio del camal, es factible determinar los parámetros de diseño para el reactor biológico y además determinar la eficiencia de remoción de los parámetros tales como DBO, DQO, ST, SST, SSV, SS, Aceites y Grasas, Coliformes Totales y Termotolerantes.

**INDICE**

|                      |   |        |
|----------------------|---|--------|
| <b>Capítulo I:</b>   | <b>INTRODUCCIÓN</b>   | PAG.01 |
| <b>Capítulo II:</b>  | <b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b>                             | PAG.03 |
|                      | 2.1 Planteamiento y Delimitación del problema                 | PAG.04 |
|                      | I. Formulación y Delimitación del Problema                    | PAG.04 |
|                      | II. Descripción de la Realidad Problemática                   | PAG.05 |
|                      | III. Justificación de la Investigación                        | PAG.05 |
|                      | 2.2 Objetivos   | PAG.06 |
|                      | 2.3 Hipótesis   | PAG.06 |
|                      | 2.4 Variables del Estudio                                     | PAG.07 |
|                      | 2.5 Antecedentes de la Investigación                          | PAG.08 |
| <b>Capítulo III:</b> | <b>MARCO TEÓRICO</b>  | PAG.12 |
|                      | 3.1 Marco Histórico   | PAG.12 |
|                      | 3.1.1 Proceso de Beneficio de Animales en el Camal            | PAG.12 |
|                      | A. Proceso de la Línea de Beneficio para ganado Vacuno        | PAG.12 |
|                      | B. Proceso de la Línea de Beneficio para ganado Porcino       | PAG.17 |
|                      | 3.1.2 Marco Legal   | PAG.22 |
|                      | 3.1.3 Antecedentes Históricos Importantes                     | PAG.26 |
|                      | 3.2 Investigaciones Relacionadas con el Tema                  | PAG.26 |
|                      | 3.3 Estructura Teórica y Científica                           | PAG.32 |
|                      | 3.3.1 Tratamiento Biológico                                   | PAG.32 |
|                      | 3.3.2 Tratamiento de Lodos Activados                          | PAG.35 |
|                      | 3.3.2.1 Descripción del Proceso                               | PAG.35 |
|                      | 3.3.2.2 Parámetros de Diseño para Procesos de Lodos Activados | PAG.40 |
|                      | 3.3.2.2.1 Producción de Lodo                                  | PAG.44 |
|                      | 3.3.2.2.2 Índice Volumétrico de Lodos (IVL)                   | PAG.45 |
|                      | 3.3.2.2.3 La necesidad de Nutrientes                          | PAG.46 |
|                      | 3.3.2.3 Otros Procesos Aerobios                               | PAG.46 |
|                      | 3.3.2.3.1 Aireación Prolongada o Proceso de Oxidación         |        |

|  |        |
|--|--------|
| Total  | PAG.46 |
| 3.3.2.3.2 Contacto – Estabilización  | PAG.48 |
| 3.3.2.4 Otras Modificaciones del Proceso Convencional  |        |
| Lodos Activados  | PAG.49 |
| 3.3.2.4.1 Aireación Escalonada   | PAG.49 |
| 3.3.2.4.2 Procesos de Lodos Activados con Mezcla   |        |
| Completa   | PAG.50 |
| 3.3.2.4.3 Aireación Descendente  | PAG.52 |
| 3.3.2.4.4 Aireación de alta Carga  | PAG.53 |
| 3.3.2.4.5 Aireación con Oxígeno Puro   | PAG.53 |
| 3.1 Definición de Términos Básicos   | PAG.55 |
| <br>   |        |
| <b>Capítulo IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION</b>  | PAG.68 |
| <br>   |        |
| 4.1 Ubicación de La Planta de Lodos Activados a Escala<br>de Laboratorio   | PAG.69 |
| 4.2 Descripción General de La Planta de Lodos Activados<br>a Escala de Laboratorio   | PAG.70 |
| 4.3 Materiales de Fabricación  | PAG.72 |
| 4.4 Criterios de Diseño  | PAG.72 |
| 4.4.1 Determinación de parámetros biocinéticos   | PAG.72 |
| I. Caracterización del agua residual del camal   | PAG.73 |
| II. Aplicación de lodo activo proveniente de una<br>Planta de Lodos Activados Real   | PAG.75 |
| III. Determinación de resultados mediante análisis<br>de los parámetros de DQO y DBO en el afluente y<br>efluente y finalmente SSV en el reactor | PAG.76 |
| IV. Determinación de Parámetros Biocinéticos   | PAG.76 |
| V. Diseño de la Planta de Lodos a Escala de<br>Laboratorio y Determinación del número de<br>Bombas   | PAG.80 |
| V.1 Diseño de la Planta de Lodos a Escala de<br>Laboratorio  | PAG.80 |
| V.2 Determinación del Número de Bombas para<br>La Planta de Lodos Activados a Escala de<br>Laboratorio   | PAG.84 |

|  |         |
|--|---------|
| 4.4.2 Criterios Técnicos en la Construcción de la Planta<br>de Lodos Activados a Escala de Laboratorio | PAG.90  |
| 4.4.2.1 Tanque de Homogenización   | PAG.91  |
| 4.4.2.2 Sedimentador Primario  | PAG.91  |
| 4.4.2.3 Reactor Biológico, Sedimentador Secundario<br>y Canal de Recolección                           | PAG.92  |
| 4.5 Características y Funcionamiento de las Unidades<br>de la Planta de Lodos Activados                | PAG.93  |
| 4.5.1 Tanque de Homogenización   | PAG.93  |
| 4.5.2 Sedimentador Primario  | PAG.96  |
| 4.5.3 Reactor Biológico  | PAG.98  |
| 4.5.4 Sedimentador Secundario  | PAG.103 |
| 4.5.5 Canal de Recolección   | PAG.104 |

**Capítulo V: Puesta en Marcha de la Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio** PAG.106

|   |         |
|---|---------|
| 5.1 Acondicionamiento de la Planta de Lodos Activados<br>a Escala de Laboratorio  | PAG.107 |
| 5.1.1 Caracterización del Agua Residual proveniente del<br>área de beneficio del camal                                      | PAG.107 |
| 5.1.2 Composición del lodo crudo proveniente de la<br>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio<br>de Carapongo | PAG.108 |
| 5.1.3 Puesta en Marcha de la Planta de Lodos Activados<br>a Escala de Laboratorio   | PAG.109 |
| 5.2 Programa de Monitoreo del Sistema de Lodos<br>Activados   | PAG.116 |
| 5.3 Análisis realizados durante el período de monitoreo<br>programado   | PAG.117 |

**Capítulo VI: Discusión de la Metodología de Trabajo y Resultados Alcanzados** PAG.118

|  |         |
|--|---------|
| 6.1 Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio | PAG.119 |
|--|---------|

|  |         |
|--|---------|
| 6.2 Control del Proceso  | PAG.125 |
| 6.3 Características del Efluente Tratado   | PAG.126 |
| <b>Capítulo VII: Conclusiones</b>  | PAG.127 |
| <b>Capítulo VIII: Recomendaciones</b>  | PAG.134 |
| <b>Capítulo IX: Bibliografía</b>   | PAG.143 |
| <b>Capítulo X: Anexos</b>  | PAG.146 |
| <b>Anexo A: RESULTADOS</b>   | PAG.148 |
| <b>Anexo B: Planos de la Planta de Lodos Activados<br/>A Escala de Laboratorio (Adjunto)</b> | PAG.170 |
| <b>Anexo C: Artículos de Estudios Relacionados al<br/>Tema (Adjuntos)</b>                    | PAG.172 |



## TABLAS

### CAPITULO III

|   |        |
|---|--------|
| TABLA N° 3.1: Ventajas y Desventajas del Sistema Anaerobio y Aerobio<br><i>[Stephenson, et al, 2000]</i>                | PAG.33 |
| Tabla N° 3.2: Principales Procesos de Tratamiento Biológico<br><i>[Romero Rojas, Jairo]</i>                             | PAG.34 |
| Tabla N° 3.3: Características de Funcionamiento del Proceso de Fangos Activados <i>[Metcalf and Eddy, 1995, p. 625]</i> | PAG.54 |
| Tabla N° 3.4: Parámetros de diseño para los procesos de fangos activados <i>[Metcalf and Eddy, 1995, p.626]</i>         | PAG.55 |

### CAPITULO IV

|  |        |
|--|--------|
| Tabla N° 4.1: Concentraciones del Agua Residual del Camal                                  | PAG.74 |
| Tabla N° 4.2: Caracterización del Lodo de la PTAR de San Antonio de Carapongo (Lodo Crudo) | PAG.75 |
| Tabla N° 4.3: Caracterización del Agua Residual Tratada del Camal                          | PAG.76 |
| Tabla N° 4.4: Cuadro de Resumen  | PAG.77 |
| Tabla N° 4.5: Parámetros Biocinéticos  | PAG.80 |

### CAPITULO V

|   |         |
|---|---------|
| Tabla N° 5.1: Caracterización del Agua Residual Crudo proveniente del Área de Beneficio                                       | PAG.108 |
| TABLA N° 5.2: Composición del Lodo Crudo proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo | PAG.109 |
| Tabla N° 5.3: Parámetros y Frecuencia de Monitoreo  | PAG.116 |
| Tabla N° 5.4: Métodos Utilizados al Analizar los Parámetros Monitoreados  | PAG.117 |

### CAPITULO VI

|  |         |
|--|---------|
| Tabla N° 6.1: Cronograma de Análisis   | PAG.119 |
| Tabla N°: 6.2: Variaciones de T° y Ph en el Sistema a Escala de Laboratorio  | PÁG.123 |
| Tabla N° 6.3: Composición del agua residual industrial crudo y tratado, en comparación a los Límites Máximos Permitidos por el DS N° 003 | PÁG.126 |

## CUADROS

### CAPITULO III

|   |        |
|---|--------|
| Cuadro N° 3.1: Definición de los Símbolos utilizados en la Figura N° 3.4<br>[Ramalho, 1996, p. 256] | PAG.36 |
|---|--------|

### CAPITULO IV

|  |        |
|--|--------|
| Cuadro N° 4.1: Cuadro de Cálculos de k, Ks   | PAG.78 |
| Cuadro N° 4.2: Cuadro de Cálculos de Y y Kd  | PAG.79 |
| Cuadro N° 4.3: Características de las Bombas   | PAG.85 |
| Cuadro N° 4.4: Condiciones de Funcionamiento durante las Pruebas                     | PAG.85 |
| Cuadro N° 4.5: Resultados de OD en el Tiempo   | PAG.85 |
| Cuadro N° 4.6: Resultados de Déficit (Cs-Ct) en el Tiempo                            | PAG.86 |
| Cuadro N° 4.7: Resultados de (Cs-Ct) / (Cs - Ct) vs. Tiempo                          | PAG.86 |
| Cuadro N° 4.8: Resultados de Déficit (Cs-Ct) en el Tiempo con las<br>rectas halladas | PAG.89 |
| Cuadro N° 4.9: Determinación del Coeficiente de Transferencia $K_L a$                | PAG.89 |

## FIGURAS

### CAPITULO III

|   |        |
|---|--------|
| FIGURA 3.1. Diagrama de Flujo Proceso Línea de Beneficio - Ganado<br>Vacuno                             | PAG.16 |
| FIGURA 3.2. Diagrama de Flujo Proceso Línea de Beneficio – Ganado<br>Porcino                            | PAG.21 |
| Figura N° 3.3: Descomposición Microbial de la Materia Orgánica<br>[Romero Rojas, Jairo]                 | PAG.33 |
| Figura N° 3.4: Diagrama de Flujo del Proceso Convencional de Lodos<br>Activos [Ramalho, 1996, p. 254]   | PAG.36 |
| Figura N° 3.5: Proceso convencional de aireación prolongada<br>[Ramalho, 1996, p.414]                   | PAG.47 |
| Figura N° 3.6: Canal de oxidación [Ramalho, 1996, p.415]  | PAG.47 |
| Figura N° 3.7: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización<br>[Metcalf and Eddy, 1995, p.529] | PAG.48 |
| Figura N° 3.8: Proceso de Aireación Escalonada<br>[Ramalho, 1996, p.426]                                | PAG.50 |
| Figura N° 3.9: Proceso de Lodos Activos con Mezcla Completa   |        |

|  |        |
|--|--------|
| [Ramalho, 1996, p.434]   | PAG.51 |
| Figura N° 3.10: Proceso de Lodos Activos con mezcla completa<br>Suministro y Demanda de Oxígeno [Ramalho, 1996, p.434]               | PAG.51 |
| Figura N° 3.11: Proceso Convencional de Lodos Activos con<br>Reactor de Flujo Pistón [Ramalho, 1996, p.435]                          | PAG.52 |
| Figura N° 3.12: Esquema de un Sistema de Tratamiento de Fangos<br>Fangos Activados, Con Oxígeno Puro [Metcalf and Eddy, 1995, p.532] | PAG.54 |

## **CAPITULO IV**

|   |        |
|---|--------|
| Figura N° 4.1: Ubicación de la Planta de Lodos Activados a Escala<br>Laboratorio  | PAG.69 |
| Figura N° 4.2: Isométrico de Planta de Lodos Activados a Escala de<br>Laboratorio | PAG.83 |
| Figura N° 4.3: Vista de Planta  | PAG.83 |
| Figura N° 4.4: Corte A-A  | PAG.84 |

## **GRAFICOS**

### **CAPITULO IV**

|   |        |
|---|--------|
| Gráfico N° 4.1: Obtención de K y KS                         | PAG.78 |
| Gráfico N° 4.2: Obtención de Y y Kd                         | PAG.79 |
| Gráfico N° 4.3: Oxígeno Disuelto vs. Tiempo Aireación       | PAG.86 |
| Gráfico N° 4.4: Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión R1 | PAG.87 |
| Gráfico N° 4.5: Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión R2 | PAG.87 |
| Gráfico N° 4.6: Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión R3 | PAG.88 |
| Gráfico N° 4.7: Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión R4 | PAG.88 |

### **CAPITULO VI**

|  |         |
|--|---------|
| Gráfico N° 6.1: Porcentaje de remoción de DQO obtenida en el<br>Sistema a Escala de Laboratorio              | PAG.120 |
| Gráfico N° 6.2: Relación entre F/M 1 y Remoción de Materia Orgánica<br>en el Sistema a Escala de Laboratorio | PAG.122 |
| Gráfico N° 6.3: Evolución de la biomasa SSVLM, en sistema a Escala<br>de Laboratorio                         | PAG.124 |

<sup>1</sup> F/M, relación en inglés que traducido al español es (A/M); Alimento / Microorganismo

**FOTOS****CAPITULO III**

|   |        |
|---|--------|
| Foto N° 3.1: Recepción y Reposo                           | PAG.13 |
| Foto N° 3.2: Sangría y Degüello                           | PAG.13 |
| Foto N° 3.3: Eviscerado                                   | PAG.14 |
| Foto N° 3.4: Corte Medial                                 | PAG.14 |
| Foto N° 3.5: Limpieza y Desgrase                          | PAG.15 |
| Foto N° 3.6: Selección para la saca, Recepción y descanso | PAG.17 |
| Foto N° 3.7: Aturdimiento                                 | PAG.18 |
| Foto N° 3.8: Sangría                                      | PAG.18 |
| Foto N° 3.9: Escaldado                                    | PAG.19 |
| Foto N° 3.10: Pelado y refinado                           | PAG.19 |
| Foto N° 3.11: Eviscerado                                  | PAG.20 |

**CAPITULO IV**

|  |         |
|--|---------|
| Foto N° 4.1: Vista de la Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio     | PAG.71  |
| Foto N° 4.2: Aireación para TRH de 3; 4 y 5 horas                              | PAG.73  |
| Foto N° 4.3: Toma de Muestra de Agua Residual                                  | PAG.74  |
| Foto N° 4.4: Tanque de Homogenización  | PAG.91  |
| Foto N° 4.5: Sedimentador Primario   | PAG.92  |
| Foto N° 4.6: Reactor Biológico, Sedimentador Secundario y Canal de Recolección | PAG.93  |
| Foto N° 4.7: Ubicación y Materiales para Captación del Agua Residual           | PAG.94  |
| Foto N° 4.8: Captación del Agua Residual                                       | PAG.94  |
| Foto N° 4.9: Vertido del Agua Residual a través de la Malla Metálica           | PAG.95  |
| Foto N° 4.10: Tanque de Homogenización   | PAG.95  |
| Foto N° 4.11: Sedimentador Primario  | PAG.96  |
| Foto N° 4.12: Detalle de Salida de Sedimentos                                  | PAG.97  |
| Foto N° 4.13: Medición de pH   | PAG.97  |
| Foto N° 4.14: Partes del Reactor Biológico                                     | PAG.98  |
| Foto N° 4.15: Difusor de Jebe Agujerado  | PAG.99  |
| Foto N° 4.16: Batería de Bombas con Difusores                                  | PAG.99  |
| Foto N° 4.17: Detalle de Mangueras donde Circula el Aire                       | PAG.100 |
| Foto N° 4.18: Batería de Bombas  | PAG.100 |
| Foto N° 4.19: Batería de Difusores Porosos                                     | PAG.101 |

|   |         |
|---|---------|
| Foto N° 4.20: Bombas Sumergibles                    | PAG.101 |
| Foto N° 4.21: Inyección de aire por medio de Chorro | PAG.102 |
| Foto N° 4.22: Funcionamiento del Reactor            | PAG.102 |
| Foto N° 4.23: Punto de Muestreo del Reactor         | PAG.103 |
| Foto N° 4.24: Sedimentador Secundario               | PAG.104 |
| Foto N° 4.25: Canal de Recolección                  | PAG.105 |

## **CAPITULO V**

|  |         |
|--|---------|
| Foto N° 5.1: Recolección de Agua Residual  | PAG.110 |
| Foto N° 5.2: Tanque de Homogenización  | PAG.110 |
| Foto N° 5.3: Sedimentador Primario   | PAG.111 |
| Foto N° 5.4: Puntos de Muestreo en el Sedimentador   | PAG.111 |
| Foto N° 5.5: Vertido de Lodo Crudo al Reactor Biológico  | PAG.112 |
| Foto N° 5.6: Aireación del Lodo con el Agua Residual   | PAG.113 |
| Foto N° 5.7: Medición del Índice Volumétrico de Lodos (IVL)  | PAG.114 |
| Foto N° 5.8: Muestreo en el Canal de Recolección   | PAG.114 |
| Foto N° 5.9: Muestra de Desagüe en Cada Unidad de La Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio | PAG.115 |

# CAPITULO I



## INTRODUCCION

Actualmente uno de los problemas ambientales que más preocupa a la humanidad es la gran cantidad de aguas residuales que se vierten a los cuerpos de agua sin tratamiento, por eso es de gran importancia que se traten adecuadamente y para que esto se logre se recurre a muchos métodos de los cuales los más utilizados son los que involucran microorganismos (biológicos) debido a que son económicos, eficientes y no generan subproductos contaminantes.

Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales, es el empleo de sistemas biológicos de lodos activados, ya que poseen una gran variedad de microorganismos capaces de remover materia orgánica presente en el agua residual, esto se ve favorecido por el uso de reactores que proveen de las condiciones necesarias para la degradación de la materia orgánica.

El proceso de lodos activados tiene como objetivo la remoción de materia orgánica en términos de DBO y DQO, de las aguas residuales. La combinación de microorganismos y agua residual se conoce como lodos activados.

Por lo anteriormente señalado, en el presente trabajo se evaluó la eficiencia de un reactor biológico, durante el tratamiento de aguas residuales provenientes del área de beneficio de un camal, mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio.

## CAPITULO II



## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN



## 2.1 PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

### I. FORMULACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La siguiente formulación y delimitación del problema esta basada en la actividad agroindustrial como plantas de camales en su área de beneficio, pues al ser una empresa dedicada al rubro de sacrificio de animales para la producción de carne de consumo humano, son generadoras de grandes cantidades de aguas residuales con alta carga orgánica contaminante (DBO, DQO, Grasas, etc.) que en muchos casos son vertidas a cuerpos de agua y/o suelo sin tener un tratamiento previo.

Actualmente la mayoría de estos establecimientos agroindustriales no cuentan con un tratamiento de sus aguas residuales, y si lo tienen, este es ineficiente y/o inadecuado.

De lo anteriormente señalado, se puede identificar lo siguiente:

#### **Problema General:**

¿El tratamiento de los desagües provenientes del área de beneficio del camal mediante el sistema de lodos activados, es una alternativa eficiente para remover la alta carga orgánica contaminante que contienen?

#### **Problemas Específicos:**

1. ¿El reactor biológico a escala de laboratorio es eficiente en la remoción de los siguientes parámetros: DBO, DQO, ST, SST, SSV, SS, Aceites y grasas, Coliformes Totales y Fecales?
2. ¿Es posible determinar los parámetros de diseño para el reactor biológico, tratando los desagües provenientes del área de beneficio del camal mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio?

## **II. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En los camales, desde el punto de vista económico, adoptar medidas para controlar la contaminación de las aguas residuales, representa un costo que no todas las empresas están dispuestas a asumir. Ello ha llevado a aplicar medidas que permiten prevenir la contaminación.

La problemática de los camales es la descarga de sus efluentes al sistema público de alcantarillado, a cuerpos de agua y/o al suelo sin recibir tratamiento alguno, tratamiento ineficiente y/o inadecuado; de tal manera que para la industria de los camales, es necesaria la introducción de nuevas tecnologías y alternativas que permitan cumplir las exigencias sanitarias y ambientales establecidas.

Si bien se han realizado trabajos en esta industria con la finalidad de evaluar la factibilidad de optimización y reutilización de las aguas de sus procesos, que permitan reducir la contaminación, aún siguen siendo limitados.

Por ello con esta tesis se busca demostrar experimentalmente que el tratamiento biológico de las aguas residuales provenientes del área de beneficio del camal mediante el sistema de lodos activados, es efectivo para la reducción de los contaminantes orgánicos que contiene.

## **III. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:**

Esta investigación permitirá determinar las ventajas del tratamiento biológico directo al agua residual proveniente del área de beneficio del camal, reduciendo los contaminantes orgánicos que contiene.

Asimismo dicho tratamiento biológico contribuye a la mitigación de la contaminación directa a los cuerpos receptores y/o a los sistemas de alcantarillado, consiguiendo que sus efluentes cumplan con la normativa ambiental vigente.

Además, se realiza la investigación para determinar los parámetros de diseño para un reactor biológico a escala de laboratorio.

## **2.2 OBJETIVOS**

### **I. OBJETIVO PRINCIPAL:**

Determinar experimentalmente que el tratamiento biológico de los desagües provenientes del camal (área de beneficio) mediante el sistema de lodos activados a escala de laboratorio, es efectivo para la reducción de la alta carga orgánica contaminante que contienen estas aguas residuales.

### **II. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

1. Determinar la eficiencia de remoción del reactor biológico a escala de laboratorio de los siguientes parámetros: DBO, DQO, SST, SSV, SS, Aceites y grasas, Coliformes Totales y Fecales.
2. Determinar los parámetros de diseño para el reactor biológico tratando las aguas residuales provenientes del camal mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio.

## **2.3 HIPÓTESIS**

### **I. HIPÓTESIS PRINCIPAL**

El tratamiento biológico de las aguas residuales provenientes del camal mediante el sistema de lodos activados a escala de laboratorio es efectivo para la reducción de la alta carga orgánica contaminante que contienen.

### **II. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

1. El reactor biológico a escala de laboratorio es eficiente en la remoción de los siguientes parámetros: DBO, DQO, SDT, SST, SSV, SS, Aceites y grasas, Coliformes Totales y Fecales.
2. Los parámetros de diseño del reactor biológico se determinan tratando las aguas residuales provenientes del camal por medio de una planta a escala de laboratorio.

#### **2.4 VARIABLES DEL ESTUDIO:**

Se han considerado para el proceso de monitoreo, las siguientes variables:

- Temperatura (° C)
- Ph
- Índice Volumétrico de Lodos (IVL)
- Tiempo Retención Hidráulico THR
- Sólidos Disueltos Totales SDT (mg/lit)
- Sólidos Suspendidos Totales SST (mg/lit)
- Sólidos Suspendidos Volátiles SSV ( mg/lit)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO (mg/lit )
- Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/lit)
- Oxígeno Disuelto OD (mg/lit)
- Nitrógeno Total (mg/lit)
- Nitrógeno Amoniacal (mg/lit)
- Nitrógeno Orgánico (mg/lit)
- Fósforo Total (mg/lit)
- Acidez Total(mg/lit)
- Aceites y Grasas (mg/lit)
- Coliformes Totales (NMP/100ml)
- Coliformes Fecales (NMP/100ml)

## 2.5 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN:

Se han encontrado evidencias de trabajos realizados sobre el tratamiento de aguas residuales de camales. A continuación se detallan cada uno de ellos:

**Uruguay:** En un principio empezaron a utilizar sistemas biológicos para el tratamiento de efluentes de camales, pero identificaron una serie de limitaciones como consecuencia del material sólido presente, fundamentalmente grasas (Martínez *et al.* 1996), lo que hace necesario la utilización de tratamientos primarios eficientes. Si bien el material sólido no es fácilmente degradable, ensayos batch a escala de laboratorio indican una conversión de este tipo de sólidos en metano del orden de 50% (Sayed *et al.*, 1988). Estudios a escala de laboratorio, utilizando reactores anaerobios de tipo manto de lodos, con tiempo de estadía de dos días, reportan degradaciones de DQO insoluble del orden de 80% (Martínez *et al.*, 1996). Estos resultados indican que diseñando adecuadamente el sistema biológico es posible lograr una importante degradación del material particulado no removido en los tratamientos primarios.

Para efectos de mejorar el sistema de tratamiento en la actualidad se utiliza un tratamiento físico químico como es la flotación y posteriormente se pueden usar tratamientos biológicos como reactores anaerobios y lagunas anaerobias.

**Kuwait:** Existen estudios de investigación acerca de tratamientos de aguas residuales de mataderos, los resultados mostrados son muy favorables en la remoción de la DQO y DBO. Entre los últimos trabajos realizados se tiene la investigación de Nayef Z. Al-Mutairi cuyo tema fue: "Selectores Aerobios en matadero para Sistemas de Lodos Activados"; donde analizaron el Bulking filamentosa de las aguas residuales de un matadero, donde se aplicó un sistema de tratamiento de lodos activados la cual redujo significativamente. La principal causa de esta condición se atribuye a niveles significativos de influentes fácilmente biodegradable COD, que estuvo presente principalmente en forma de ácidos orgánicos. Un selector

aerobio fue elegido para erradicar los incidentes habituales de Bulking en la planta de tratamiento de aguas residuales del matadero. Otras instalaciones incluyen mejoras en el aumento de la aireación del reactor por lotes de volumen, y el suministro de capacidad de paso de alimentación.

Comparación de datos antes y después de la instalación en el selector aeróbica mostró una mejoría significativa en la mezcla decantada, que excluye la necesidad de utilizar productos químicos para el control de filamentos y el control de los efluentes sólidos. El volumen adicional de la cuba de aireación y la eliminación de los productos químicos de lodos activados, el sistema también sirve para eliminar la toxicidad acuática en el efluente tratado.

**Irlanda:** Se han realizado investigaciones en tratamiento de efluentes de camales detallando: "Eliminación de nutrientes de aguas residuales de matadero en una secuencia intermitente de un reactor gaseoso batch"

En esta investigación se comprobó el rendimiento de un reactor batch de secuencias (SBR) de 10 L para el tratamiento de aguas residuales del matadero, para lo cual se examinó a temperatura ambiente el afluente de aguas residuales compuesto por  $4.672 \pm 952$  mg demanda química de oxígeno (COD) / L,  $356 \pm 46$  mg de nitrógeno total (TN) / L y  $29 \pm 10$  mg de fósforo total (TP) / L. La duración de un ciclo completo fue de 8 h, y comprende cuatro fases: llenado (7 min.), aireación (393 min.), sedimentación (30 min.) y extracción (50 min.).

Durante la fase de aireación, el reactor suministró aire a 0,8 L / min. cuatro veces en 50 min. intervalos de 50 minutos cada vez. En el afluente la tasa de carga orgánica fue de 1,2 g COD / (L d), el promedio de las concentraciones de efluentes COD, TN y TP fueron 150 mg / L, 15 mg / L y 0,8 mg / L, respectivamente. Esto representó COD, TN y la absorción de TP 96%, 96% y 99%, respectivamente. Fase de estudios biológicos demuestran que la absorción de fósforo se produjo en el primer período de

aireación y eliminación de nitrógeno se llevó a cabo en el siguiente tiempo de aireación por medio de la nitrificación parcial y desnitrificación. El análisis del balance de nitrógeno indicó que la desnitrificación y la síntesis de biomasa contribuyeron al 66% y el 34% de TN eliminado, respectivamente.

# CAPITULO III

**TEORICO**



### 3.1 MARCO HISTÓRICO

#### 3.1.1 PROCESO DE BENEFICIO DE ANIMALES EN EL CAMAL

El camal realiza el proceso de beneficio de animales vacunos, porcinos y en menor frecuencia de ovinos.

A continuación se describirán los procesos de la línea de beneficio del ganado vacuno y porcino:

##### **A. Proceso de la Línea de Beneficio para ganado vacuno**

El camal cuenta con una línea de beneficio para reses, donde se utiliza tecnología de punta para el sacrificio de los animales; resaltando las instalaciones, la constante preocupación de la sanidad e higiene en el proceso.

En ella se procesa aproximadamente 550 Tm. de carne de vacuno al mes procedentes de los principales centros de engorde del país.

Esta carne está destinada exclusivamente al abastecimiento de autoservicios y mercados de abasto de la gran Lima.

Los procesos del beneficio para el ganado vacuno se describen a continuación:

##### ***Recepción***

De animales procedentes de centros de engorde. Ver Foto N° 3.1.

##### ***Reposo***

Deben tener un descanso y ayuno mínimo de 12 horas, con la finalidad de contrarrestar el stress del viaje y eliminar el contenido del aparato digestivo. Ver Foto N° 3.1.



**Foto N° 3.1: Recepción y Reposo**

### ***Baño***

Es necesario para higienizar al animal, lograr una relajación y poder lograr una buena constricción de los vasos sanguíneos periféricos enviando la sangre a los grandes vasos, mejorando sustancialmente el proceso de sangrado.

### ***Insensibilización***

Se realiza con una pistola neumática, produciéndose la conmoción y así se evita el sufrimiento del animal.

### ***Sangría***

Etapa importante en la cual se busca extraer la mayor cantidad de sangre posible del animal. Ver Foto N° 3.2

### ***Degüello***

Se retira la cabeza de la carcasa para poder iniciar el desolle. Ver Foto N° 3.2



**Foto N° 3.2: Sangría y Degüello**

***Eviscerado***

Se extraen las vísceras torácicas (corazón, pulmones) y luego las abdominales (hígado, estómagos, intestinos, bazo, riñones). Ver Foto N° 3.3



**Foto N° 3.3: Eviscerado**

***Corte Medial***

Se corta la carcasa por la mitad con una sierra eléctrica enfriada por agua, obteniéndose dos medias reses. Ver Foto N° 3.4



**Foto N° 3.4: Corte Medial**

***Limpieza y desgrase***

Es una etapa en la que se busca la presentación de la carcasa para su venta. Ver Foto N° 3.5



**Foto N° 3.5: Limpieza y Desgrase**

***Numeración y pesaje de la carcasa***

Cada pieza es numerada correlativamente y luego pesada, siendo registrada esta información en el informe de beneficio.

***Envío a cámaras de refrigeración***

Las carcasas procesadas ingresan a una cámara de refrigeración (de 0 a 5°C) para que sean almacenadas por el tiempo requerido.

A continuación se muestra el la Figura N° 3.1 el Diagrama de Flujo Proceso Línea de Beneficio - Ganado Vacuno

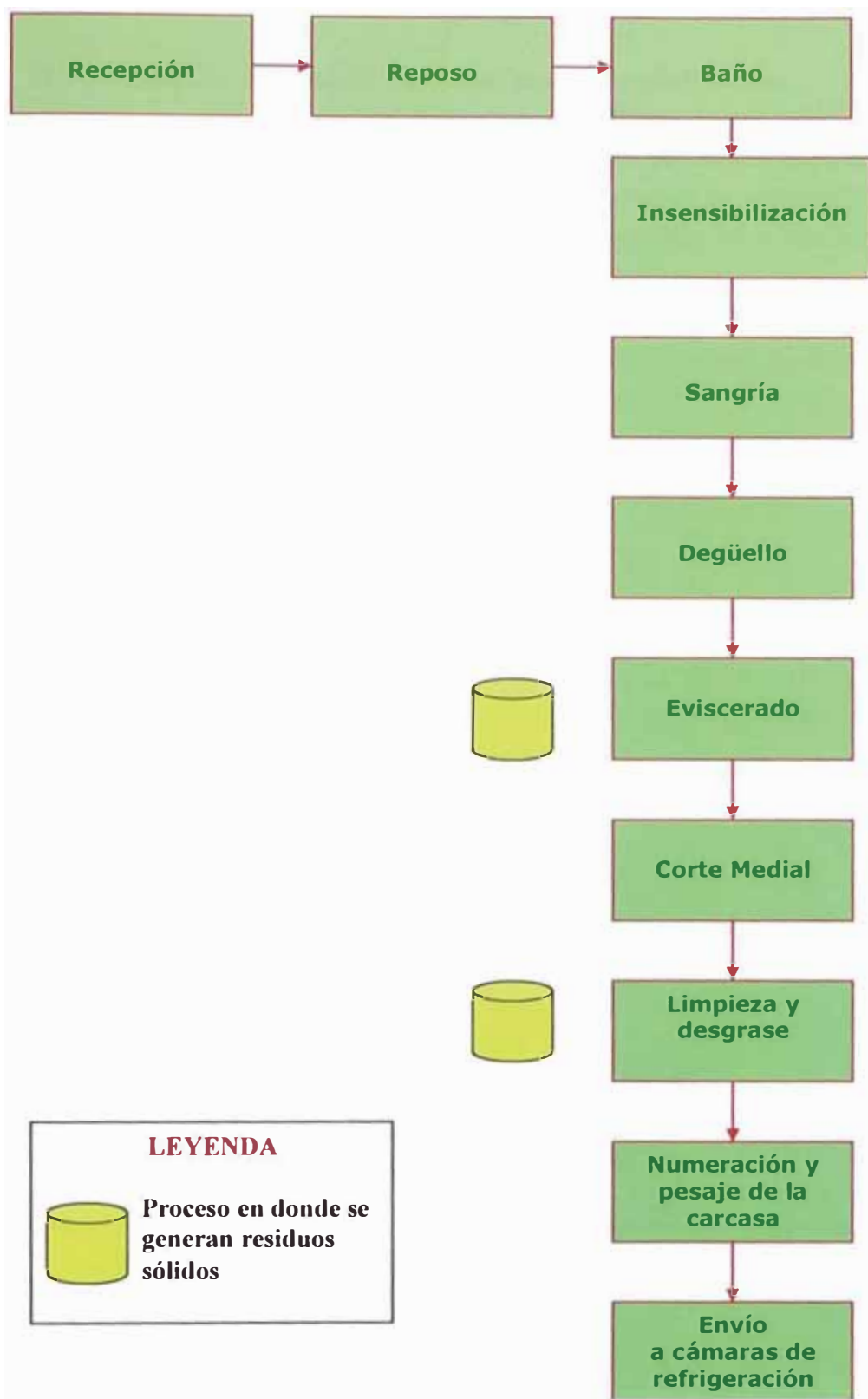


Figura N° 3.1: Diagrama de Flujo Proceso Línea de Beneficio - Ganado Vacuno

## **B. Proceso de la Línea de Beneficio para Ganado Porcino**

En ella se procesan 600 Tm. de carne de cerdo al mes procedentes de las principales granjas porcinas del país. Esta carne está destinada en su mayoría a la producción de embutidos, así como a los diferentes mercados para consumo directo.

Los procesos del beneficio para el ganado porcino se describen a continuación:

### ***Selección para la saca***

Los animales seleccionados para el sacrificio son restringidos de alimento entre 8 a 12 horas como mínimo. Ver Foto N° 3.6

### ***Recepción y descanso***

Verificación del contenido de la guía (granja de procedencia, cantidad, sexo, etc.). Los cerdos descansan después del transporte. Ver Foto N° 3.6



**Foto N° 3.6: Selección para la saca, Recepción y descanso**

***Aturdimiento***

El animal es conmocionado por medio de una descarga eléctrica cerebral para evitar su sufrimiento. Procedimiento regido bajo normas legales. Ver Foto N° 3.7



**Foto N° 3.7: Aturdimiento**

***Sangría***

Corte de los vasos circulatorios para extraer la mayor cantidad de sangre posible. Ver Foto N° 3.8



**Foto N° 3.8: Sangría**

***Escaldado***

Se introduce en agua a 65 °C por tres minutos para facilitar la extracción de las cerdas durante el pelado. Ver Foto N° 3.9



**Foto N° 3.9: Escaldado**

***Pelado y refinado***

Es una operación mecánica y manual para extraer restos de piel y cerdas. Ver Foto N° 3.10



**Foto N° 3.10: Pelado y refinado**



***Flameado***

El empleo de fuego en forma directa sobre la carcasa para eliminar todo remanente de cerdas.

***Eviscerado***

Extracción de vísceras blancas (estómago, intestino delgado y grueso, etc.). Seguido del corte del esternón para extraer las vísceras rojas. Ver Foto N° 3.11



**Foto N° 3.11: Eviscerado**

***Lavado***

Con abundante agua fría se obtiene una limpieza de la carcasa.

***Pesado***

Se obtiene el peso individual de las carcasas y el rendimiento del lote.

***Conservación***

Las carcasas procesadas ingresan a cámara de refrigeración (de 0 a 5°C) para que sean almacenadas por el tiempo requerido.

A continuación se muestra en la Figura N° 3.2 el Diagrama de Flujo Proceso Línea de Beneficio - Ganado Porcino

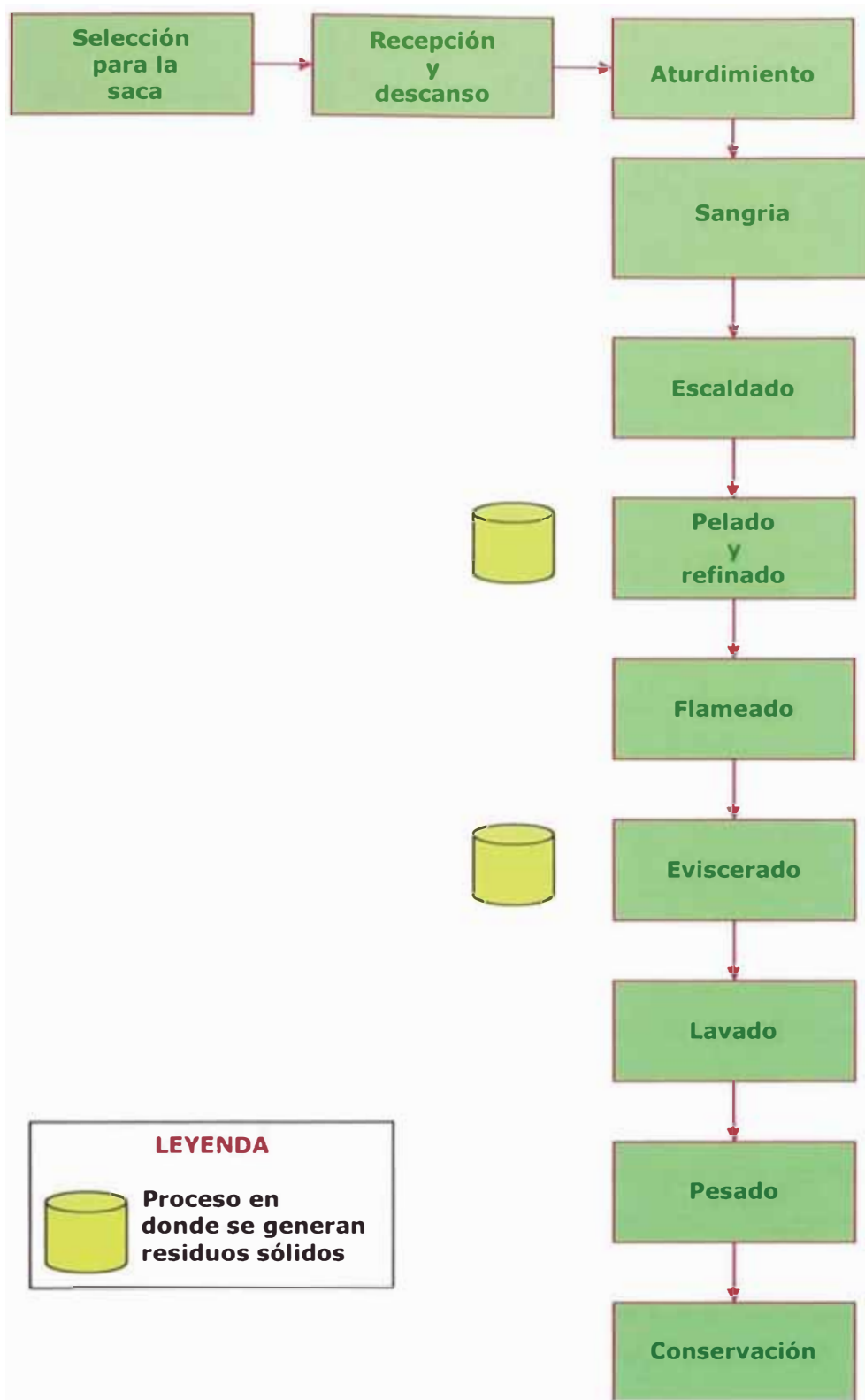


Figura N° 3.2: Diagrama de Flujo Proceso Linea de Beneficio - Ganado Porcino

### 3.1.2 MARCO LEGAL

La presente investigación está enmarcada fundamentalmente dentro de la siguiente legislación:

- **Constitución Política del Perú. 1993**  
En su artículo 2, inciso 22 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.
- **Ministerio del Ambiente, 14.05.08, mediante D.L. N° 1013**  
El Ministerio del Ambiente es el organismo del Poder Ejecutivo rector del sector ambiental, que desarrolla, dirige, supervisa y ejecuta la política nacional del ambiente. Asimismo, cumple la función de **promover la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas.**
- **Ley General del Ambiente – Ley N° 28611 del 15.10.08**  
En su artículo primero menciona que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida; y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país.
- **Ley General de Aguas, D.S. N° 261-69-AP del y su Reglamento de Los Títulos I, II y III (Decreto Supremo N° 261-69-AP) del 24.06.1969**  
En el Capítulo II, Artículo 57º, ningún vertimiento de residuos sólidos, líquidos o gaseosos podrá ser efectuado en las aguas

marítimas o terrestres del País sin la previa aprobación autorización de Autoridad Sanitaria.

En el Capítulo IV, Artículo 143º, los desagües y afluentes provenientes, de la industria, deberán ser evacuados preferentemente en redes o canales especialmente construidos para estos fines, permitiéndose hacerlo en las redes y alcantarillados de las poblaciones, solamente previo los tratamientos requeridos para evitar el deterioro de dichas redes. En todos los casos no podrán contaminar ni solucionar las aguas superficiales o subterráneas ni las capas acuíferas, así como los terrenos de cultivo y los potencialmente cultivables.

➤ **Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338 del 31.03.09**

**Artículo I.-** La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulta aplicable.

**Artículo II.-** La presente Ley 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.

**En el Título I, Artículo V.-** El agua cuya regulación es materia de la presente Ley comprende entre otros, a las aguas residuales.

**En el Título V, Artículo 79º.-** *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.*

*Corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado.*

➤ **Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales, del 08.09.1990, mediante D.L. N° 613,**

En el **CAPITULO IV**, DE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD

**Artículo 14.-** PROHIBICION DE DESCARGAR SUSTANCIAS CONTAMINANTES.

Es prohibida la descarga de sustancias contaminantes que provoquen degradación de los ecosistemas o alteren la calidad del ambiente, sin adoptarse las precauciones para la depuración.

La autoridad competente se encargará de aplicar las medidas de control y muestreo para velar por el cumplimiento de esta disposición.

**Artículo 15.-** PROHIBICION DE VERTER O EMITIR RESIDUOS QUE ALTEREN LAS AGUAS.

Queda prohibido verter o emitir residuos sólidos, líquidos o gaseosos u otras formas de materia, o de energía que alteren las aguas en proporción capaz de hacer peligrosa su utilización. La autoridad competente efectuará muestreos periódicos de las aguas para velar por el cumplimiento de esta norma.

En el **CAPITULO XIX**, DEL AGUA Y ALCANTARILLADO

**Artículo 110.-** APROBACION PARA DESCARGA DE AFLUENTES INDUSTRIALES EN SISTEMA DE ALCANTARILLADO

Las industrias grandes, medianas, pequeñas o artesanales, sólo podrán descargar sus afluentes en el sistema de alcantarillado público, previa aprobación de la autoridad competente.

**Artículo 111.-** FOMENTO DE LA REUTILIZACION DE AGUAS RESIDUALES.

El Estado fomenta el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando éstas recuperen los niveles cualitativos que exige la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública.

**Artículo 112.-** TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NO AUTORIZADAS A SER VERTIDAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.

Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos, la flora o la fauna. Las obras deben ser previamente aprobadas.

➤ **Norma S.090 Reglamento Nacional de Edificaciones – Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, del 08.06.06**

En el Artículo 4.3.13, para la selección de los procesos de tratamiento de las aguas residuales se usará como guía los siguientes valores:

| PROCESO DE TRATAMIENTO        | REMOCIÓN (%) |                       | REMOCIÓN ciclos log <sub>10</sub> |           |
|-------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------|
|                               | DBO          | Sólidos en suspensión | Bacterias                         | Helmintos |
| Sedimentación primaria        | 25-30        | 40-70                 | 0-1                               | 0-1       |
| Lodos activados (a)           | 70-95        | 70-95                 | 0-2                               | 0-1       |
| Filtros percoladores (a)      | 50-90        | 70-90                 | 0-2                               | 0-1       |
| Lagunas aeradas (b)           | 80-90        | (c)                   | 1-2                               | 0-1       |
| Zanjas de oxidación (d)       | 70-95        | 80-95                 | 1-2                               | 0-1       |
| Lagunas de estabilización (e) | 70-85        | (c)                   | 1-6                               | 1-4       |

- (a) precedidos y seguidos de sedimentación
- (b) incluye laguna secundaria
- (c) dependiente del tipo de lagunas
- (d) seguidas de sedimentación
- (e) dependiendo del número de lagunas y otros factores como: temperatura, período de retención y forma de las lagunas.

En los artículos 5.3, 5.4 y 5.5 con respecto a las unidades de Tratamiento Preliminar, Tratamiento Primario y Tratamiento Secundario respectivamente.

En el artículo 5.5.3 Tratamiento con Lodos Activados, se consideran como opciones de 75 a 95% de la DBO. Entre las posibles variaciones se podrá seleccionar la aereación prolongada por zanjas de oxidación, en razón a su bajo costo. La selección del tipo de procesos se justificará mediante un estudio técnico económico.

### **3.1.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS IMPORTANTES**

La aeración de aguas residuales domésticas fue practicada por Angus Smith en Inglaterra en 1882, encontrándose que esta acción promueve oxidación de la materia orgánica. Varios años más tarde, en 1990, Black y Phelps estudiaron la aeración de aguas residuales por primera vez en los Estados Unidos.

El desarrollo inicial del proceso de lodos activados ocurrió entre 1912 y 1913 en la "Lawrence Experiment Station"; en esta oportunidad los investigadores Clark Gate encontraron que aguas residuales aireadas promueven el crecimiento de biomasa, la cual podría ser cultivada para incrementar la oxidación biológica.

Los resultados en Lawrence indujeron a investigadores ingleses a conducir experimentos en otros aspectos. Arden y Lockett encontraron que el lodo juega un papel importante en oxidación y nitrificación. Al retirar repetidamente líquido clarificado de un tanque de aeración y añadir desecho doméstico crudo, redujeron el tiempo de oxidación a unas pocas horas. El lodo acumulado en esta forma y capaz de producir una nitrificación activa fue llamada: "lodo activado". Posteriormente los desarrollos iniciales del proceso se demostraron en Milwaukee y Baltimore, EE.UU. que el proceso puede ser operado en forma continua aireando en un tanque una mezcla de lodo activado con el desecho afluyente y luego separando el líquido clarificado del lodo.

Desde los inicios a la fecha, grandes desarrollos han ocurrido, tanto desde el punto de vista de variaciones al proceso, mecanismo de aeración y control como de una considerable cantidad de los aspectos biológicos y fisicoquímicos del proceso.

### **3.2 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL TEMA**

Algunas de las experiencias que se conocen, se señalan a continuación:

- J.P. Li et al. (2008), en su estudio **“Nutrient removal from slaughterhouse wastewater in an intermittently aerated sequencing batch reactor” (Remoción de Nutrientes de aguas residuales de un matadero en un reactor batch con una secuencia de aireación intermitente)**, en esta investigación se comprobó el rendimiento de un reactor batch de secuencias (SBR) de 10 L para el tratamiento de aguas residuales del matadero, para lo cual se examinó a temperatura ambiente el influente de aguas residuales compuesto por  $4.672 \pm 952$  mg demanda química de oxígeno (COD) / L,  $356 \pm 46$  mg de nitrógeno total (TN) / L y  $29 \pm 10$  mg de fósforo total (TP) / L. La duración de un ciclo completo fue de 8 h, y comprendió cuatro fases: llenado (7 min.), aireación (393 min.), sedimentación (30 min.) y extracción (50 min.). Durante la fase de aireación, el reactor fue aireado cuatro veces, con un suministro de aire de 0,8 L / min. por intervalos de 50 minutos, 50min cada vez. En el influente la tasa de carga orgánica fue de 1,2 g DBO / (L d), el promedio de las concentraciones de DBO en el efluente, Nitrógeno Total y Fósforo Total fueron 150 mg / L, 15 mg / L y 0,8 mg / L, respectivamente. Esto representó 96% DBO, 96% Nitrógeno total y 99% Fósforo total de remoción, respectivamente. Fase de los estudios biológicos demuestran que la absorción de fósforo se produjo en el primer período de aireación y remoción de nitrógeno se llevó a cabo en el siguiente tiempo de aireación por medio de la nitrificación parcial y desnitrificación. El análisis de balance de nitrógeno indica que la desnitrificación y la síntesis de biomasa contribuyeron al 66% y 34% de nitrógeno total removido respectivamente, obteniendo las siguientes conclusiones:
1. *El porcentaje de remoción fue: 96% de DBO, 96% Nitrógeno total y 99% de Fósforo total.*
  2. *El balance de nitrógeno fue llevado a cabo y mostró que el 66% de nitrógeno removido fue debido a la desnitrificación y 34% fue consumido por los microorganismos para la síntesis de la biomasa.*



3. *La nitrificación parcial ocurrió en el sistema, posiblemente debido al patrón de aireación intermitente empleada en el sistema SBR. El 95% de nitrógeno removido mediante la desnitrificación fue a través del NO<sub>2</sub>-N.*

- Tejero Gómez, Jorge et al. (2007), en su estudio "**Análisis del Reactor de Lodos Activados de la Planta Centenario**", en este estudio se presentan los resultados de la evaluación del funcionamiento del reactor de lodos activados, de la Planta de tratamiento de aguas residuales "Centenario" ubicada en Chetumal, Quintana Roo. La evaluación se realizó mediante la estimación de parámetros cinéticos con un respirometro conectado en la línea al reactor y la medición de la remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal. Estas mediciones permitieron el cálculo de la potencia suministrada al reactor y la producción de lodos. Los cálculos de potencia mostraron problemas de falta de control adecuado del proceso llevado al cabo en el reactor, presentándose diferencias significativas en los consumos energéticos para una similar eficiencia de remoción. Los datos colectados en éste estudio permiten una estrategia de optimización de costos del proceso del reactor de la Planta. obteniendo las siguientes conclusiones:

*El proceso de lodos activados de la Planta Centenario presentó buenas eficiencias de remoción de materia orgánica y nitrógeno amoniacal durante el período de estudio. Sin embargo al carecer de un control adecuado el proceso presenta variaciones en la concentración y actividad de los microorganismos presentes en el reactor, estas variaciones cambian el TRS por lo cual no existe un control efectivo en el suministro de aire necesario para el proceso incrementando de manera importante los costos de operación. La metodología presentada en éste estudio puede utilizarse para optimizar el proceso del reactor.*

- Al-Mutairi, Nayef Z, Deyanira (2005), en su estudio **“System of Residual Water Treatment of Slaughter House: For a Smaller Population 2000 Inhabitants” (Selectores Aeróbicos en Camales para Sistemas de Lodos Activados: Una Investigación Preliminar)** , en este estudio se analizaron el Bulking filamentosa de las aguas residuales de un matadero, donde se aplicó un sistema de tratamiento de lodos activados, el cual el licor mezclado redujo significativamente sus propiedades, los cuales causaron muchos problemas operacionales y el empeoramiento de la calidad del efluente. La principal causa de esta condición fue atribuida a niveles significativos de influentes fácilmente biodegradables de DBO, que estuvieron presente principalmente en forma de ácidos orgánicos. Un selector aerobio fue elegido para erradicar los incidentes habituales de Bulking en la planta de tratamiento de aguas residuales del matadero. Otras instalaciones incluyen mejoras en el aumento de la aireación del reactor por lotes de volumen, y el suministro de capacidad de paso de alimentación.

La comparación de datos antes y después de la instalación selectora aeróbica mostró una mejoría significativa en la capacidad del licor mezclado, que excluye la necesidad de utilizar productos químicos para el control de filamentos y el control de los efluentes sólidos. El volumen adicional de aireación y la eliminación de productos químicos del sistema de lodos activados también sirve para eliminar la toxicidad acuática en el efluente tratado, obteniendo las siguientes conclusiones:

*La combinación de selección aeróbica, incrementó la capacidad de aireación en el tanque y la aireación cónica ha demostrado ser efectiva en el control de la bacteria filamentosa en la planta de tratamiento de aguas residuales del matadero de Hawally. Se trata de un enfoque interesante para superar los problemas con las materias en suspensión flotante descargada al tanque de equalización, los que pudieron ser eliminados sin usar químicos.*

- Muñoz Muñoz, Deyanira (2005), en su estudio "**System of Residual Water Treatment of Slaughter House: For a Smaller Population 2000 Inhabitants**" (**Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Matadero: para una población menor 2000 habitantes**), en este estudio se revisó tres posibles métodos de tratamientos de aguas residuales de matadero. Con base a las características típicas de esta agua y los requerimientos recomendados, se seleccionó una alternativa de tratamiento más viable para población de habitantes relativamente pequeña. obteniendo las siguientes conclusiones:

*La purificación de las aguas residuales es un proceso de centralización y aceleración que normalmente se da en la naturaleza, pero, las variaciones en los desechos crudos, en los grados de pretratamiento, en las operaciones de elaboración de la carne, en las prácticas de tratamiento de los desechos, en las condiciones climáticas y en las características del subsuelo influirán en el diseño. Debido al costo, al mantenimiento y al propio proceso, no se aconseja un tratamiento convencional sofisticado, por que comparado con otros procedimientos, incluso el tratamiento convencional de las aguas residuales es muy costoso tanto en capital como en gastos de funcionamiento. Sea cual sea el procedimiento o grado de tratamiento de las aguas residuales que se adopte, se debe desinfectar siempre las aguas residuales finales y aplicar tratamiento térmico al residuo. Para los mataderos de tamaño intermedio, el costo de purificación de las aguas residuales es alto, la etapa del tratamiento en estanque podría omitirse pero el tratamiento primario proporcionaría una calidad de agua útil para riego, forraje y ganado.*

- Finamore Correa, Carolina (2005), en su estudio "**Constantes Cinéticas en un Sistema de Lodos Activados a Escala Laboratorio**", en este estudio se utilizó un sistema de lodos

activados a escala de laboratorio conformado por un tanque de aeración de 30l y un sedimentador de 10l y alimentado con líquido residual municipal, obteniendo las siguientes conclusiones:

1. *Las constantes cinéticas obtenidas en esta investigación, representativas para un sistema de lodos activados a escala de laboratorio para un líquido residual municipal débil fueron las siguientes:  $K_s=35\text{mg DBO/l}$ ,  $k=0.64\text{ d}^{-1}$ ,  $T=0.39\text{ mg SSVLM/mg DBO}_{5,20}$  y  $k_d=0.034\text{ d}^{-1}$ .*
2. *Las concentraciones de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado oscilaron entre 600 y 1100 mg/l y la de sólidos suspendidos totales entre 800 y 1200 mg/l, valores inferiores a los reportados en la literatura.*
3. *El índice volumétrico de lodos varió entre 79 y 121 ml/g, valores que indican buena sedimentabilidad del lodo.*
4. *El contenido de materia orgánica en términos de DQO para el afluente se encontró entre 240-344 mg/l y para el efluente entre 28-110mg/l para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de DQO entre 65 y 90%.*
5. *El contenido de materia orgánica en términos de  $\text{DBO}_{5,20}$  para el efluente se encontró en el rango de 100-140mg/l y para el efluente entre 15-45 mg/l, para un porcentaje de remoción de materia orgánica en términos de  $\text{DBO}_{5,20}$ , entre 63 y 88%.*
6. *Los valores de relación F/M se ubican entre 0.20-0.70 mg  $\text{DBO/mg SSVLM}\cdot\text{d}$  y entre 0.64-1.74mg  $\text{DQO/SSVLM}\cdot\text{d}$ , valores mayores a los reportados por la bibliografía.*
7. *El porcentaje de remoción de  $\text{DBO}_{5,20}$ , aumenta a medida que el tiempo de retención hidráulico y el tiempo de residencia celular se incrementan, llegando a un 90% aproximadamente, para tiempos de retención hidráulicos*

*superiores a 15 horas y de residencia celular entre 20 y 30 días.*

### **3.3 ESTRUCTURA TEÓRICA Y CIENTÍFICA**

#### **3.3.1 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 lo son 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

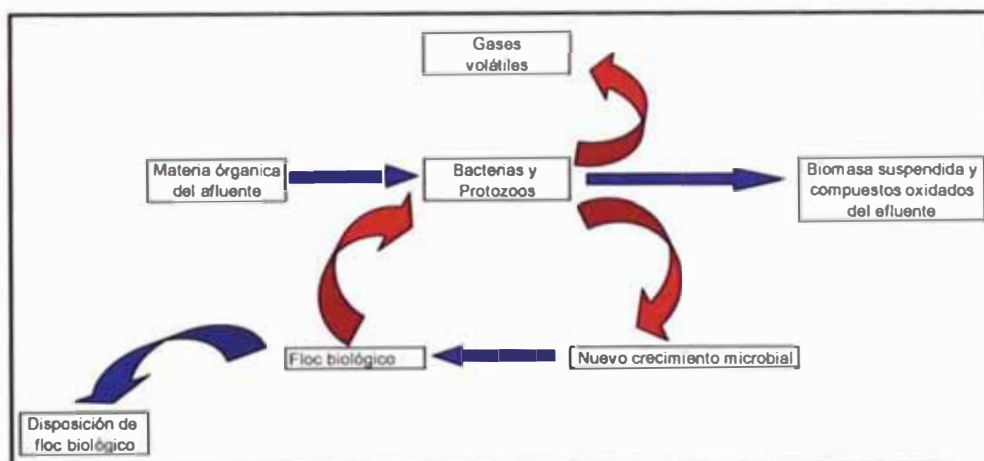
utilizados y juegan un papel importante en la degradación de los lodos generados. En la Tabla N° 3.1, se indican las ventajas y desventajas del Sistema Anaerobio y Aerobio:

**TABLA N° 3.1**

**Ventajas y Desventajas del Sistema Anaerobio y Aerobio**  
*[Stephenson, et al, 2000]*

| PARÁMETRO               | SISTEMA ANAEROBIO | SISTEMA AEROBIO |
|-------------------------|-------------------|-----------------|
| Energía                 | Bajo              | Alto            |
| % Eliminación           | 60 - 90 %         | >95%            |
| Producción de Fangos    | Baja              | Alta            |
| Estabilidad             | Baja - Moderada   | Moderada-Alta   |
| Puesta en marcha        | 2 - 4 semanas     | 2 - 4 semanas   |
| Generación de olores    | Mayor             | Menor           |
| Alcalinidad             | Alta              | Baja            |
| Generación de biogás    | Si                | No              |
| Presencia de nutrientes | Baja              | Puede ser alta  |

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes mediante actividad biológica. La actividad biológica se aprovecha para remover principalmente sustancias orgánicas biodegradables, coloidales o disueltas, del agua residual, mediante su conversión en gases que escapan a la atmósfera y en biomasa extraíble mediante sedimentación. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual. El proceso se esquematiza en la Figura N° 3.3. *[Romero Rojas, Jairo]*



**Figura N° 3.3: Descomposición Microbiana de la Materia Orgánica**

Existen cuatro grupos principales de procesos biológicos: procesos aerobios, procesos anóxicos, procesos anaerobios y procesos combinados, aerobios con anóxicos o con anaerobios. Dentro de cada grupo hay, además, diferentes tipos, dependiendo de si el proceso es de crecimiento biológico suspendido, crecimiento biológico adherido o una combinación de ellos. Así mismo, dependiendo del régimen de flujo predominante, los procesos biológicos se consideran del flujo continuo o intermitente y del tipo de mezcla completa, flujo en pistón o flujo arbitrario. En los procesos de tratamiento aerobio el tratamiento se efectúa en presencia de oxígeno. Los procesos anaerobios son aquellos en los cuales el tratamiento biológico ocurre en ausencia de oxígeno. En el proceso anóxico se remueve nitrógeno, mediante conversión de nitrato en nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno. El proceso anóxico se conoce como desnitrificación anaerobia, pero como las vías principales de conversión bioquímica no son anaerobias, sino una modificación de las vías aerobias, se considera más apropiado denominarlo proceso anóxico en vez de anaerobio. En la Tabla N° 3.2 se resumen los principales procesos de tratamiento biológico y sus usos más importantes.

**Tabla N° 3.2**  
**Principales Procesos de Tratamiento Biológico**  
*[Romero Rojas, Jairo]*

| TIPO       | CRECIMIENTO | PROCESO   | USO PRINCIPAL  |   |
|------------|-------------|---|--|---|
| AEROBIOS   | SUSPENDIDO  | Lodos Activados<br>* convencional<br>* mezcla completa<br>* aireación escalonada<br>* estabilización y contacto<br>* oxígeno puro<br>* tasa alta<br>* aireación prolongada<br>* proceso Krauss<br>* zanjón de oxidación | Promoción de DBO y nitrificación   |   |
|            |             | Lagunas Areadas<br>Digestión Aerobia<br>Lagunas Aerobias  | Remoción de DBO y nitrificación<br>Remoción de DBO - estabilización<br>Remoción de DBO y nitrificación |   |
|            |             | ADHERIDO  | Filtros Percoladores<br>* tasa baja<br>* tasa alta   | Remoción de DBO y nitrificación   |
|            |             |   | Torres Biológicas<br>Unidades Rotatorias de contacto biológico<br>Reactores de Lecho Fijo              | Remoción de DBO y nitrificación<br>Remoción de DBO y nitrificación<br>Remoción de DBO y nitrificación |
| ANÓXICOS   | SUSPENDIDO  | Bardenpho<br>Desnitrificación   | Remoción de DBO, N y P<br>Remoción de nitrógeno  |   |
|            | ADHERIDO    | Desnitrificación  | Remoción de nitrógeno  |   |
| ANAEROBIOS | SUSPENDIDO  | Digestión Anaerobia<br>Anaerobio de Contacto  | Remoción de DBO - estabilización<br>Remoción de DBO  |   |
|            | HÍBRIDO     | Lagunas Anaerobias<br>Manto de Lodos - Flujo Ascensional (PAMLA) o UASB   | Remoción de DBO - estabilización<br>Remoción de DBO y SS   |   |
|            | ADHERIDO    | Filtro Anaerobio<br>Lecho Expandido   | Remoción de DBO - estabilización<br>Remoción de DBO - estabilización                                   |   |

### 3.3.2 TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS

El proceso de Lodos activados ha sido utilizado para el tratamiento de aguas residuales tanto industriales como urbanas desde hace aproximadamente un siglo. Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Arden y Lockett, y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. [Metcalf and Eddy, 1995, p.436]

El diseño de las plantas de lodos activados se llevó a cabo fundamentalmente de forma empírica. Sólo al comienzo de los años sesenta se desarrolla una solución más racional para el diseño del sistema de lodos activados. Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, se somete a aireación durante un período de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento.

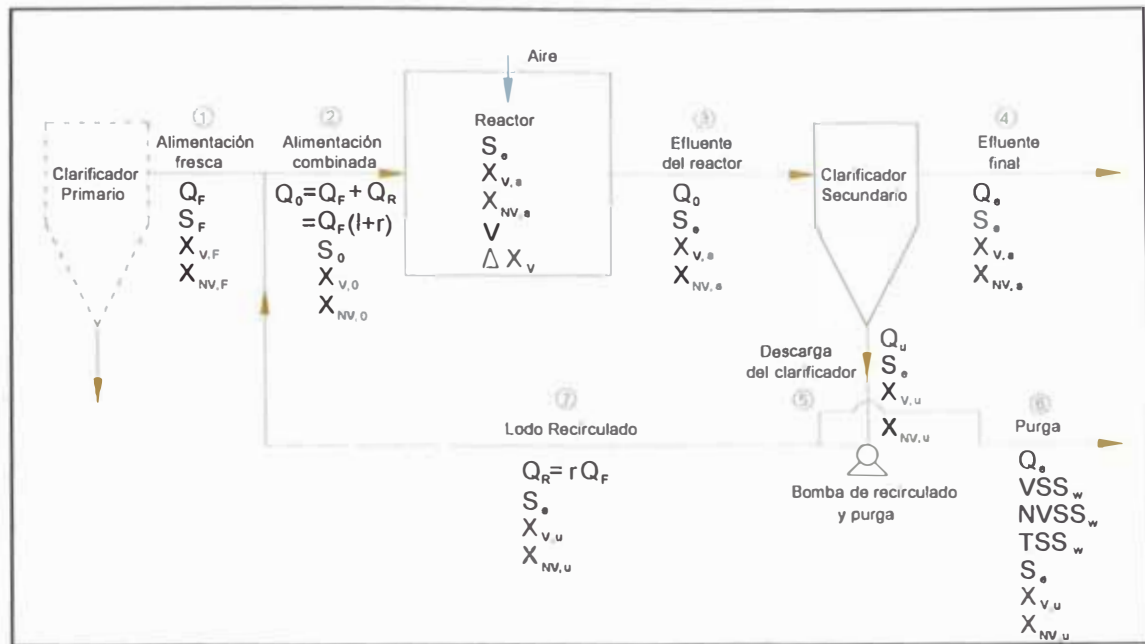
El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos que cambian continuamente en función de las variaciones de composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos.

De éstos las bacterias son las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico. [Ramalho, 1996, p.253]

#### 3.3.2.1 DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso de lodos activados se ha desarrollado como una operación continua mediante el reciclado de lodo biológico. En la Figura N° 3.4.





**Figura N° 3.4: Diagrama de Flujo del Proceso Convencional de Lodos Activos**  
[Ramalho, 1996, p. 254]

**Cuadro N° 3.1: Definición de los Símbolos utilizados en la Figura N° 3.4**

[Ramalho, 1996, p. 256]

Los símbolos señalados en la figura representan lo siguiente:

Para los sólidos en suspensión, se emplean dos subíndices,  $X_{Vi}$ ,  $X_{NVi}$ . el primer subíndice (V o NV) designa el carácter volátil o no volátil de los sólidos en suspensión, respectivamente.

El segundo subíndice (i) se refiere a la corriente específica de que se trate:

F: alimentación inicial [corriente 1]

O: alimentación inicial [corriente 2]

a: efluente del reactor [corriente 3]

e: efluente final [corriente 4]

u: descarga del clarificador secundario [corriente 5]

Símbolos:

1. Caudales

$Q_F$ : alimentación inicial ( $m^3/s$ ) [corriente 1],

$Q_R$ : reciclado ( $m^3/s$ ) [corriente 7]

$r$ : relación de reciclado ( $r = Q_R / Q_F$ )

$Q_o$ : alimentación combinada ( $m^3/s$ ) [corriente 2];  $Q_o = Q_1 + Q_R$

$Q_e$ : efluente final ( $m^3/s$ ) [corriente 4]

$Q_w$ : purga ( $m^3/s$ ) [corriente 6];  $Q_F = Q_e + Q_w$

$Q_u$ : descarga del clarificador ( $m^3/s$ ) [corriente 5];  $Q_u = Q_w + Q_R$

2. Concentraciones (mg/l) de los sólidos volátiles en suspensión (VSS)

$S_F$ : DBO soluble de la alimentación inicial

$S_o$ : DBO soluble de la alimentación combinada

$S_e$ : DBO soluble del efluente

3. Concentraciones (mg/l) de los sólidos volátiles en suspensión (VSS)

$X_{V,F}$ : VSS en la alimentación inicial

$X_{V,o}$ : VSS en la alimentación combinada

$X_{V,a}$ : VSS en el reactor. Esta concentración es asimismo igual a la de VSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio).

$X_{V,u}$ : VSS en la descarga del clarificador secundario

$X_{V,e}$ : VSS en el efluente final

4. Concentraciones (mg/l) de los sólidos en suspensión no volátiles (NVSS)

$N_{NV,F}$ : NVSS en la alimentación inicial

$N_{NV,o}$ : NVSS en la alimentación combinada

$X_{NV,a}$ : NVSS en el reactor ( $X_{NV,a} = X_{NV,o}$ ). Esta concentración es asimismo igual a la de NVSS en el efluente del reactor (reactor de mezcla completa en equilibrio).

$X_{NV,u}$ : NVSS en la descarga del clarificador secundario

$X_{NV,e}$ : NVSS en el efluente final

5. Purga

$(VSS)_W$ : kg/d de VSS en la purga

$(NVSS)_W$ : kg/d de NVSS en la purga

$(SST)_W$ : kg/d de SST en la purga

6. Volumen del reactor

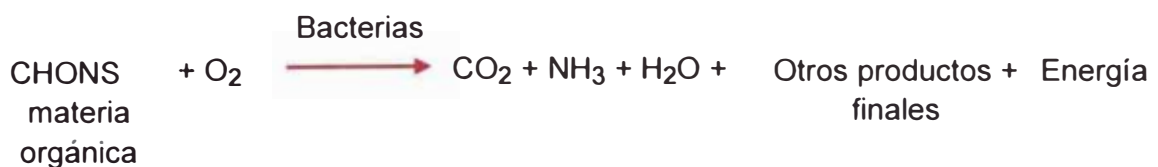
$V$ , volumen del reactor,  $m^3$

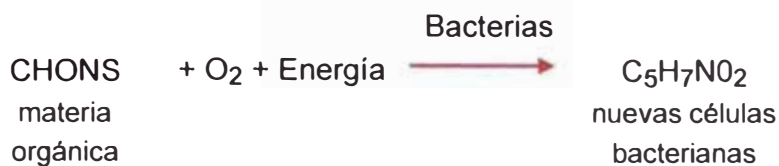
7. Producción de lodos

$\Delta X_V$ , kg/d

El residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de líquido mezcla o licor mixto. En el reactor el cultivo bacteriano lleva a cabo la conversión en concordancia general con la estequiometría de las ecuaciones siguientes, teniendo en cuenta que el proceso aerobio se ejecuta para obtener la energía necesaria para la síntesis de tejido celular nuevo. En ausencia de materia orgánica el tejido celular se respirará endógenamente y se convertirá en productos gaseosos y en energía para mantenimiento. Las tres reacciones esenciales: catabolismo, anabolismo y autólisis ocurren simultáneamente y suelen describirse así [Romero Rojas, Jairo]:

**Catabolismo** (oxidación o descomposición)



**Anabolismo** (síntesis o asimilación)**Autólisis** (respiración endógena o autooxidación)

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación (decantador secundario) para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema.

Las composiciones de las diferentes corrientes (numeradas del 1 al 7, según la Figura N° 3.4) están caracterizadas por 3 tipos de concentraciones [Ramalho, 1996, pág. 255]:

- I. **Concentración de la DBO soluble.** Se simboliza mediante  $S_i$  en la que el subíndice "i" indica la corriente específica de que se trate. La DBO soluble está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución.

Debe hacerse hincapié que el diseño de las plantas de lodos activos se basa en el consumo de la DBO soluble. Este consumo es el resultado del proceso de oxidación biológica que se presenta en el reactor.

Por otra parte, la DBO insoluble se separa mediante sedimentación en los clarificadores primario y secundario.

- II. Concentración de los sólidos volátiles en suspensión (VSS).** Se denotan mediante el símbolo  $X_{V,i}$ , en el que el subíndice V se refiere a la característica de volatilidad y el subíndice i a la corriente específica de que se trate (ver Cuadro N° 3.1). Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos.

La determinación experimental de los VSS se lleva a cabo midiendo la pérdida de peso de los sólidos totales en suspensión después de la incineración en una estufa de laboratorio a 600 °C. Esta pérdida de peso corresponde principalmente a la volatilización del lodo biológico. Los sólidos remanentes después de la incineración a 600 °C corresponden a los sólidos en suspensión no volátiles. Su naturaleza es distinta de la de los lodos biológicos, estando constituidos por materia inerte tanto orgánica como inorgánica.

- III. Concentración de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS).** Se indica mediante el símbolo  $X_{NV,i}$ , en el que NV hace referencia a la no volatilidad de los sólidos e "i" indica la corriente específica que se trate. Por consiguiente:

$$\text{SST} = \text{VSS} + \text{NVSS}$$

Sólidos en suspensión= sólidos volátiles + sólidos no volátiles  
Totales en suspensión en suspensión

### 3.3.2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS

El tiempo de aireación, la carga volumétrica o carga de DBO por unidad de volumen, la relación Alimento/Microorganismos y el tiempo promedio

de retención celular son los parámetros más usados en el diseño de lodos activados [Romero Rojas, Jairo]

- Tiempo de Retención hidráulica o tiempo de aireación ( $\theta$ )
- Carga Orgánica (CO)
- Carga Orgánica volumétrica (COV)
- La relación Alimento/Microorganismos (A/M)
- El tiempo promedio de retención celular o edad de lodos ( $\theta_c$ )
- Tasa de Recirculación de Lodos (R)

**Tiempo de Retención hidráulica o tiempo de aireación ( $\theta$ ).**- es función de la concentración de DBO del agua residual afluyente y del volumen del tanque de aireación. Se calcula de la misma manera que el tiempo de retención hidráulica, por la relación:

$$\theta = \frac{V}{Q}$$

Donde:

$\theta$  = tiempo de retención hidráulica o tiempo de aireación (días)

$V$  = volumen del líquido en el tanque de aireación ( $m^3$ )

$Q$  = caudal de aguas residuales, sin incluir el caudal de recirculación  
( $m^3$ /día)

**Carga Orgánica (CO).**- se expresa generalmente como el producto de la concentración de DBO por el caudal afluyente, representado por la relación:

$$CO = S_o \times Q$$

Donde:

CO= carga orgánica gr. DBO / día

$S_o$  = DBO Soluble de la alimentación combinada (mg/l)

$Q$  = caudal de aguas residuales, sin incluir el caudal de recirculación ( $m^3$ /día)

**Carga Orgánica Volumétrica (COV).**- se expresa usualmente en gramos de DBO aplicada por metro cúbico de volumen de licor en el tanque de aireación, como se indica en la ecuación:

$$COV = \frac{S_o \times Q}{V}$$

Donde:

**COV** = Carga Orgánica Volumétrica (gr. DBO /  $m^3$ . día)

$S_o$  = DBO Soluble de la alimentación combinada (mg/l)

$Q$  = caudal de aguas residuales, sin incluir el caudal de recirculación ( $m^3$ /día)

**Relación Alimento/microorganismos (A/M).**- es una forma de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbial en el sistema, como se indica en la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{M} = \frac{S_o \cdot Q}{V \cdot X}$$

Donde:

**A/M** = relación alimento/microorganismos (gr. DBO / gr. SSVLM. día)

$Q$  = caudal de aguas residuales crudas ( $m^3$ /día)

$S_o$  = DBO del agua residual cruda (mg/l)

$V$  = volumen del líquido en el tanque de aireación ( $m^3$ )

$X$  = SSVLM, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación (mg/l)

**Tiempo Promedio de Retención Celular o Edad de Lodos ( $\theta_c$ ).**- puede definirse con base en el volumen del tanque de aireación. Se puede expresar mediante la siguiente relación:

$$\theta_c = \frac{\text{Masa celular en el reactor}}{\text{Masa celular extraída por día}}$$

$$\theta_c = \frac{V X}{Q_w X_R + Q_e X_e}$$

Donde:

$\theta_c$  = tiempo promedio de retención celular con base en el volumen del tanque de aireación (día)

$V$  = volumen del líquido en el tanque de aireación ( $m^3$ )

$X$  = concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM, (mg/l)

$Q_w$  = caudal de lodo dispuesto ( $m^3$ /día)

$X_R$  = concentración de SSV en el lodo dispuesto (mg/l)

$Q_e$  = caudal efluente tratado ( $m^3$ /día)

$X_e$  = concentración de SSV en el efluente tratado (mg/l)

La edad del lodo típica en plantas de tratamiento de aguas residuales por procesos biológicos normalmente se encuentra comprendida entre 3 y 15 días y la relación (A/M) entre 0,05-1,00  $d^{-1}$ . [Metcalf and Eddy, 1995, p.609].

A mayor edad de lodo mayor cantidad de MLSS, en el reactor biológico. Una ventaja del proceso con biorreactores de membranas, es la capacidad de operar con una elevada edad del lodo, a una alta concentración de MLSS, y a una relación A/M baja, con la cual se reduce la cantidad de producción de lodo.



El tiempo de retención hidráulico hace referencia, al tiempo de permanencia del agua en el reactor, y normalmente suelen variar entre 4 y 8 h [Metcalf and Eddy, 1995, p.609].

### 3.3.2.2.1 PRODUCCION DE LODO

El conocimiento de la producción de lodo diaria es importante puesto que afecta al diseño de las instalaciones de tratamiento y evacuación del fango en exceso (purga).

La producción neta de MLVSS se obtiene por diferencia entre los MLVSS producidos y la cantidad perdida por respiración endógena. Esta producción neta en Kg/d se indica mediante  $\Delta X_v$  y puede expresarse de la forma siguiente:

$$\text{Kg MLVSS / d} = \Delta X_v = Y \cdot (\text{DBO}_o - \text{DBO}_e) \cdot Q_o - K_d \cdot X_{va} \cdot V$$

Producción  
Neta

Kg/d de MLVSS  
producidos

Kg/d de MLVSS oxidados  
por respiración endógena

Puede también escribirse una ecuación alternativa para la producción de lodo en función de un único parámetro  $Y_n$  (parámetro de producción neta) en lugar de hacerlo en función del parámetro de producción "Y" y del coeficiente de descomposición microbiana  $k_d$ . De esta forma la ecuación anterior se convierte en:

$$\Delta X_v = Y_n \cdot (\text{DBO}_o - \text{DBO}_e) \cdot Q_o$$

Con

$$Y_n = \frac{Y}{1 + (k_d/\mu)}$$

lo que es lo mismo:

$$Y_n = \frac{Y}{1 + k_d \cdot \theta_c}$$

Donde el parámetro  $\mu$  es la velocidad específica de crecimiento de la biomasa, la cual representa la producción de biomasa por unidad de tiempo y por unidad de biomasa presente en el reactor

$$\mu = \frac{\text{Kg MLVSS}_{\text{producidos}}}{(d) \cdot (\text{Kg MLVSS}_{\text{reactor}})}$$

### 3.3.2.2 INDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

Índice de Mohlman, corresponde al volumen en mililitros ocupados por 1 gramo de lodo activado seco, después de sedimentar el licor aireado durante 30 minutos, en una probeta de 1Lt.

Algunos autores consideran un IVL de 50 ml/g a 150 ml/g indicador de un lodo de buena sedimentabilidad, mientras que otros consideran bueno un valor  $\leq 50$  ml/g y malo un valor mayor de 150 ml/g. En general, el IVL óptimo debe determinarse para cada planta en particular pues serán función de la carga de sólidos, sobre el sedimentador, del agua residual tratada y del proceso usado en cada caso. Un IVL creciente, mayor generalmente de 200 ml/g, indicará un lodo pobre, en el cual el volumen ocupado por un gramo de lodo está aumentando y, por consiguiente, se presenta una tendencia al hinchamiento del lodo.

Para mantener una edad de lodos adecuada, así como un IVL o sedimentabilidad conveniente, se debe recircular la cantidad apropiada de lodos, por ello el diseño debe de considerar la flexibilidad y capacidad necesarias para la remoción, recirculación y almacenamiento rápido y eficiente de los lodos, especialmente en condiciones de operación de cargas pico o extremas y no sólo sobre el supuesto de cargas o caudal promedio diario anual. [Romero Rojas, Jairo]

### **3.3.2.2.3 LA NECESIDAD DE NUTRIENTES**

Para que un sistema biológico funcione correctamente es necesario que se hallen presentes cantidades adecuadas de nutrientes. Los principales nutrientes son el nitrógeno y el fósforo.

En sistemas convencionales de lodos activos se requiere una tasa de  $DBO_5:N:P$  de 100:5:1 para mantener el balance de materia óptimo para la actividad heterotrófica de los microorganismos [Stenco, 2000, p.356].

Debido a que la demanda total de nutrientes depende de la producción celular neta, las necesidades de nutrientes son más reducidas en los procesos que dispongan de largos tiempos medios de retención celular.

A menudo, este hecho se puede utilizar para explicar la razón por la cual dos plantas de tratamiento de fangos activados con diferentes tiempos medios de retención celular pueden no funcionar igual en el tratamiento de una misma agua residual.

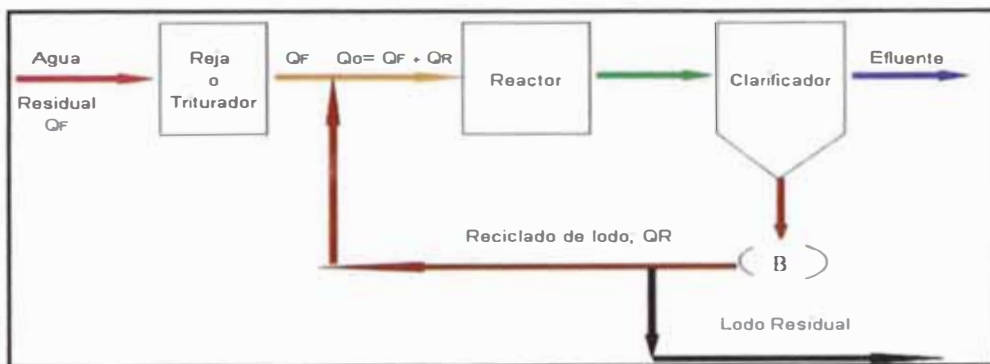
### **3.3.2.3 OTROS PROCESOS AEROBIOS**

El proceso de lodos activados es muy flexible y se puede adaptar a casi la totalidad de los problemas de tratamiento biológico de aguas residuales. A continuación se indican algunas de las principales modificaciones del proceso.

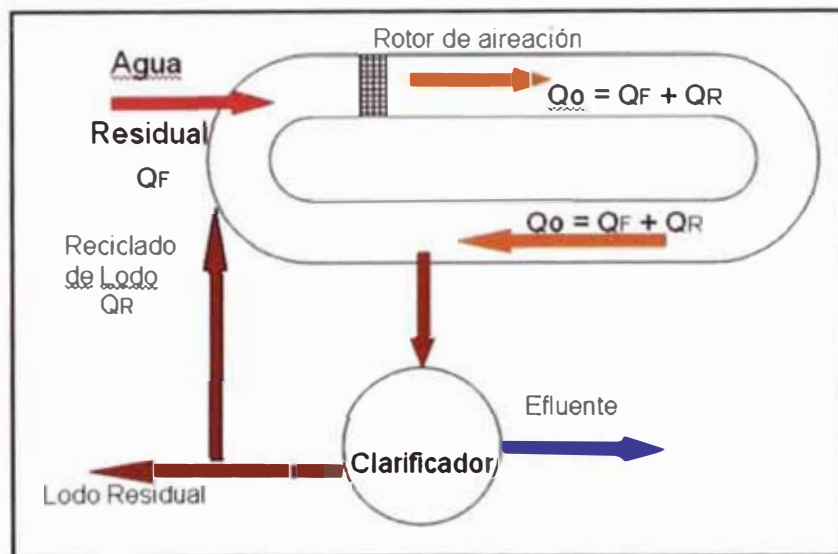
#### **3.3.2.3.1 AIREACIÓN PROLONGADA O PROCESO DE OXIDACIÓN TOTAL**

Este proceso, al que se conoce también por oxidación total, es una modificación del proceso de lodos activos. La idea fundamental de la aireación prolongada, al compararla con el proceso convencional, es disminuir la cantidad de lodo residual. Esto se consigue aumentando

el tiempo de residencia; de esta forma el volumen del reactor es comparativamente mayor que el requerido en el proceso convencional de lodos activos. Como consecuencia de todo ello, esencialmente todo el lodo degradable formado se consume mediante respiración endógena. Este proceso ha sido aplicado principalmente en el tratamiento de aguas residuales cuando el volumen diario es menor de 8 m<sup>3</sup>/d. Estos caudales corresponden al tratamiento de aguas negras de pequeñas comunidades, urbanizaciones, áreas de recreo y algunos residuos industriales [Ramalho, 1996, p.414]. En la Figura N° 3.5 y la Figura N° 3.6 se representan una unidad de aireación prolongada convencional y una variante de la misma conocida por canal de oxidación.



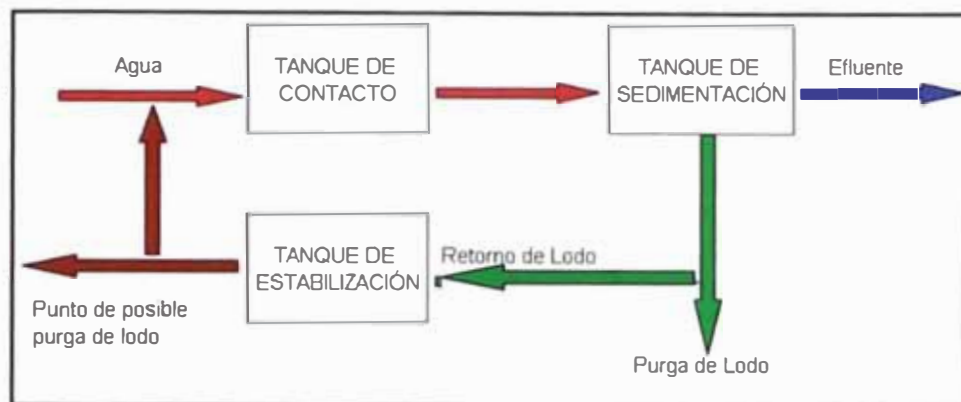
**Figura N° 3.5: Proceso convencional de aireación prolongada**  
[Ramalho, 1996, p.414]



**Figura N° 3.6: Canal de oxidación**  
[Ramalho, 1996, p.415]

### 3.3.2.3.2 CONTACTO-ESTABILIZACIÓN

El proceso de contacto - estabilización es otra modificación del de lodos activos. En la Figura N° 3.7 se presenta un diagrama de flujo del sistema. En este proceso de contacto y estabilización se utilizan dos tanques o compartimentos separados para el tratamiento del agua residual y la estabilización del fango activado.



**Figura N° 3.7: Diagrama de flujo del proceso Contacto-Estabilización**  
[Metcalf and Eddy, 1995, p.529]

El agua residual afluyente se mezcla con lodo estabilizado y esta mezcla se somete a aireación en el tanque de contacto inicial para el cual el tiempo de retención es solamente de 20 a 40 minutos. Durante el contacto inicial se separa una fracción apreciable de demanda biológica de oxígeno (DBO), en suspensión y disuelta, mediante bio-absorción después de estar en contacto con el lodo activo suficientemente aireado. El efluente mezclado procedente del tanque de contacto inicial fluye al clarificador. Se separa el efluente clarificado y la descarga del clarificador se lleva a un tanque de estabilización en donde es aireada durante un período de 1.5 a 5 h. Durante este período de estabilización los productos orgánicos adsorbidos se rompen mediante degradación aerobia. El lodo estabilizado que abandona el tanque de estabilización lo hace en condiciones de "inanición" y dispuesto por lo tanto a adsorber residuos orgánicos.

Debido a que solamente el lodo de reciclado se somete a aireación prolongada, este sistema permite una reducción apreciable del volumen de la balsa de aireación. Esta es la principal ventaja del contacto-estabilización frente al proceso convencional de lodos activos.

Para un caudal de agua residual  $QF$  ( $m^3/h$ ) y un reciclado de lodos  $0.3 QF$ , los volúmenes aproximados de tanque para el proceso convencional de lodos activos y para el contacto-estabilización son  $11QF$  y  $4 QF$ , respectivamente. Esto corresponde a una reducción en el tamaño del tanque de aproximadamente tres veces. Los rendimientos globales de separación son normalmente menores que en el proceso convencional de lodos activos pero se puede alcanzar fácilmente una separación de la DBO, del 85% al 90%.

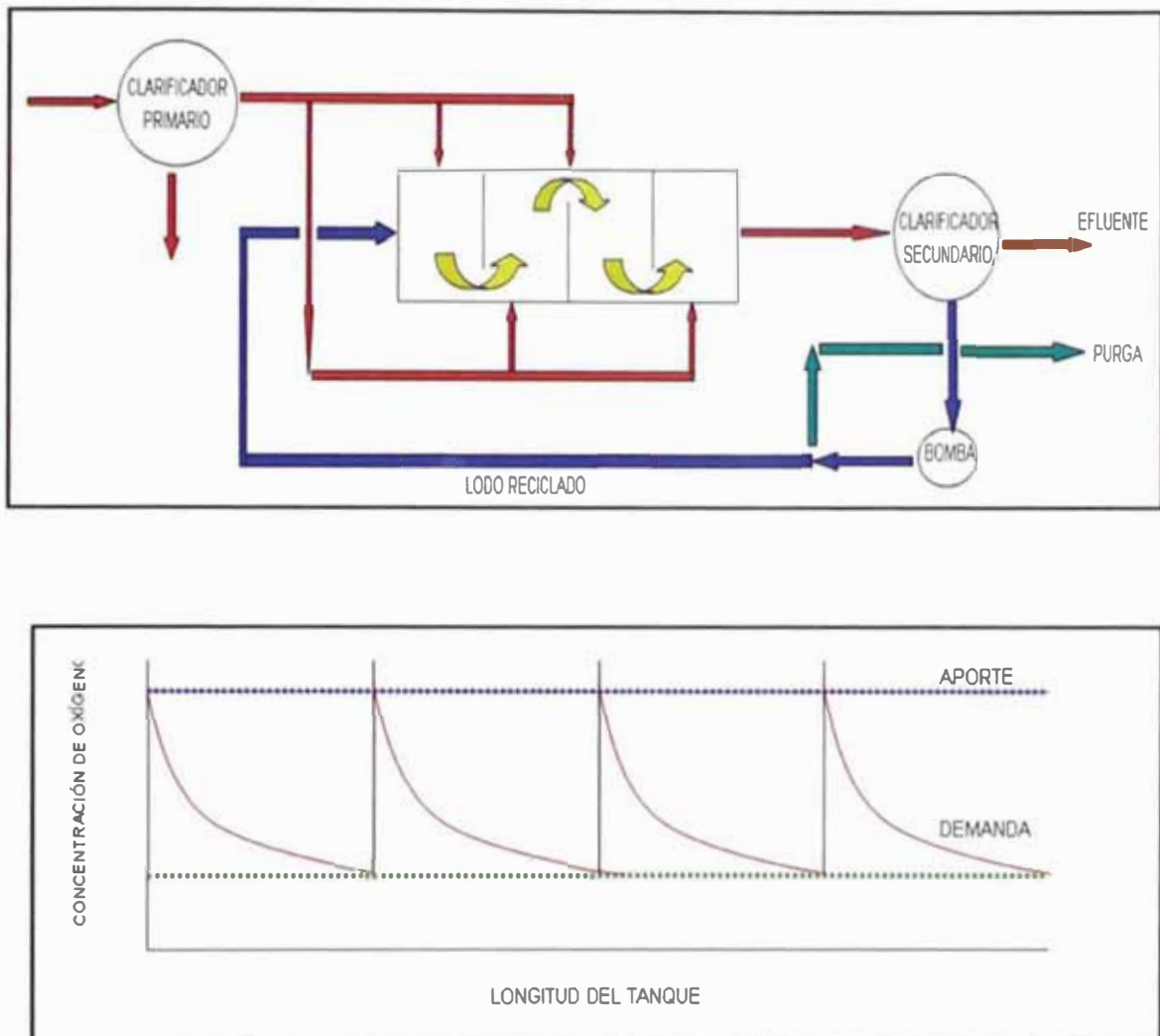
El proceso de contacto-estabilización es adecuado, por lo tanto, cuando el agua residual contiene una proporción elevada de DBO en las formas coloidal y en suspensión. Las plantas de contacto-estabilización pueden funcionar sin necesidad de clarificación primaria. [Ramalho, 1996, p.419].

### **3.3.2.4 OTRAS MODIFICACIONES DEL PROCESO CONVENCIONAL DE Lodos ACTIVADOS**

#### **3.3.2.4.1 AIREACION ESCALONADA**

La aireación escalonada es una modificación del proceso convencional de lodos activos en la cual la alimentación fresca se introduce en diversos puntos a lo largo del tanque de aireación. Esta disposición proporciona un reparto equitativo de las relaciones  $A/M$  a lo largo del tanque.

El tanque de aireación se divide mediante pantallas en varios canales paralelos. Cada canal constituye una etapa del proceso y las etapas están unidas entre sí en serie. El lodo reciclado se introduce en la cabeza del tanque de aireación. Este proceso, así como el suministro de oxígeno y su demanda a lo largo de la longitud del tanque, quedan representados en la Figura N° 3.8.

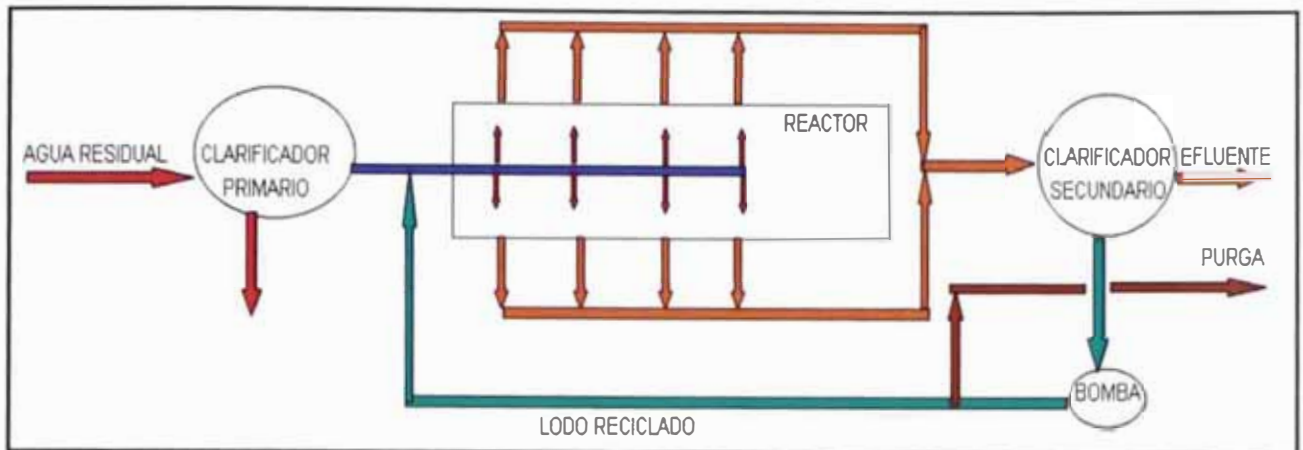


**Figura N° 3.8: Proceso de Aireación Escalonada**  
[Ramalho, 1996, p.426]

### 3.3.2.4.2 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS CON MEZCLA COMPLETA

En esta modificación del proceso de lodos activados la alimentación fresca y el lodo de reciclado se combinan y se introducen en diversos

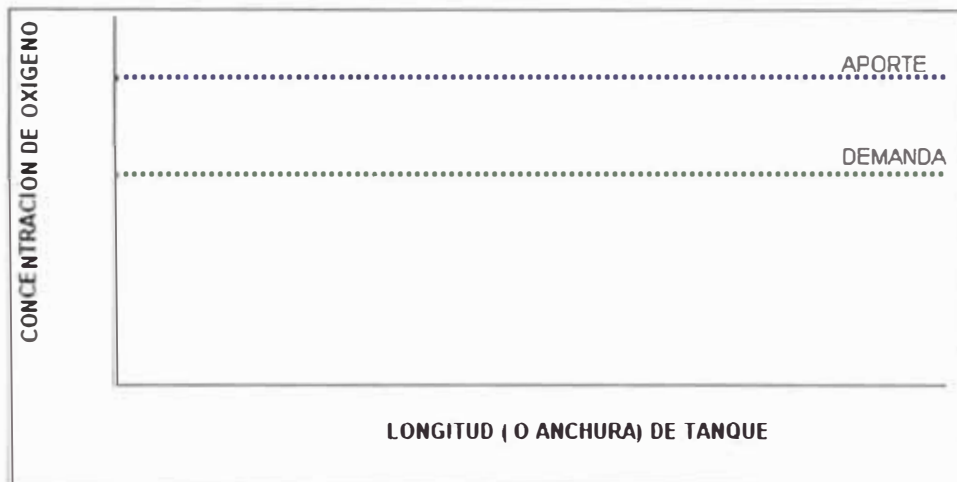
puntos del tanque de aireación desde un canal central. El líquido aireado abandona el reactor por canales de efluente a ambos lados del tanque de aireación. Ver Figura N° 3.9.



**Figura N° 3.9: Proceso de Lodos Activos con Mezcla Completa**

[Ramalho, 1996, p.434]

El suministro y la demanda de oxígeno son uniformes a lo largo del tanque. Ver Figura N° 3.10



**Figura N° 3.10: Proceso de Lodos Activos con mezcla completa  
Suministro y Demanda de Oxígeno**

[Ramalho, 1996, p.434]

Otra ventaja de la mezcla completa es que el proceso es muy resistente a los perjuicios que pueden originar los choques de carga.



Si se suponen condiciones de flujo pistón, la demanda de oxígeno disminuye a lo largo del tanque de aireación, mientras que el suministro de oxígeno permanece constante. Ver Figura N° 3.11

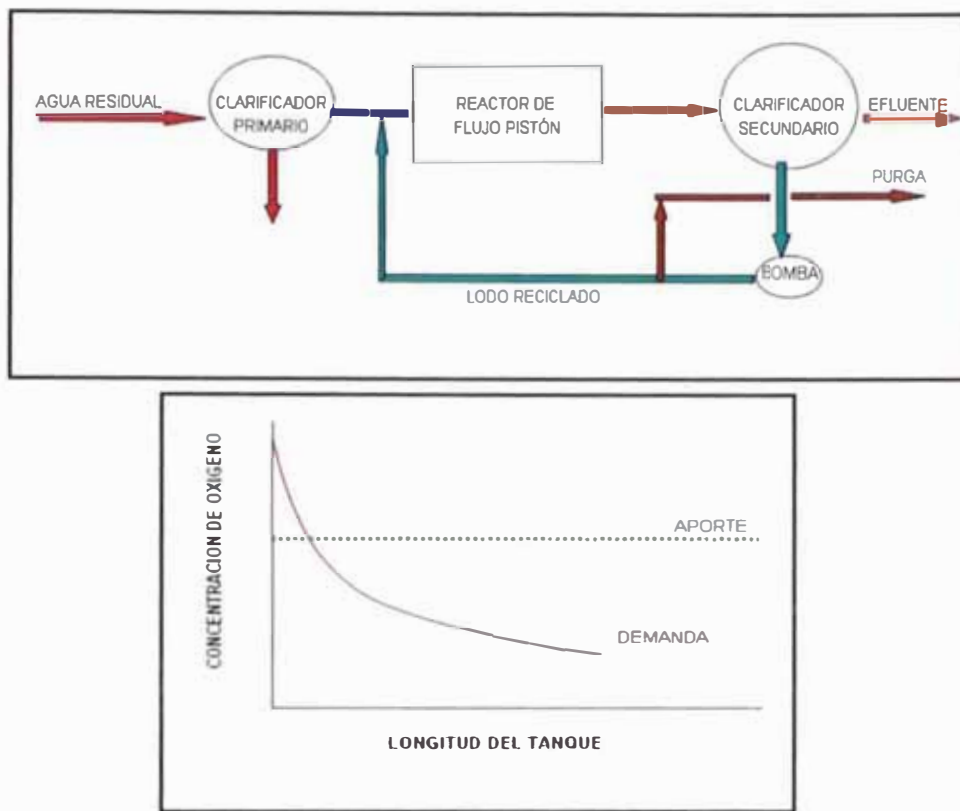


Figura N° 3.11: Proceso Convencional de Lodos Activos con Reactor de Flujo Pistón [Ramalho, 1996, p.435]

### 3.3.2.4.3 AIREACIÓN DESCENDENTE

Este proceso es una modificación del proceso convencional de flujo en pistón. El objetivo de la aireación descendente, también llamada aireación graduada, es armonizar la cantidad de aire suministrado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque de aireación. Ya que a la entrada de demanda de oxígeno es más alta, los aireadores se sitúan más próximos para proporcionar una velocidad más alta de oxigenación.

El espacio entre aireadores se aumenta hacia la salida conforme la demanda de oxígeno disminuye. Esto es, a medida que el líquido

mezcla atraviesa el tanque de aireación, tiene lugar la síntesis de nuevas células, aumentando el número de microorganismos y disminuyendo la concentración de alimento disponible. Ello da como resultado un menor valor de la relación  $A/M$  y un descenso de la demanda de oxígeno. El espaciamiento entre los difusores se aumenta entonces hacia la salida del tanque a fin de reducir la tasa de oxigenación.

Con ello se obtienen dos resultados provechosos: la menor oxigenación significa que se necesita menos aire, por lo que se reducirá el tamaño de los soplantes y por lo tanto los costes iniciales y de operación.

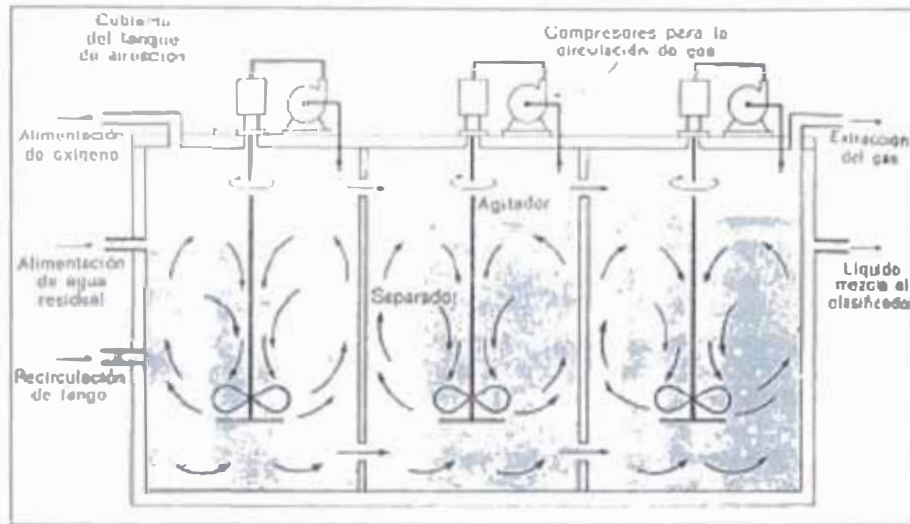
#### **3.3.2.4.4 AIREACIÓN DE ALTA CARGA**

Se trata de una modificación en la que se combinan altas concentraciones de SSVLM (sólidos en suspensión volátiles en el licor mixto) con elevadas cargas volumétricas (kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>d). Esta combinación permite una elevada relación  $A/M$  y largos tiempos de retención celular con tiempos de retención hidráulica cortos. Es muy importante conseguir el grado de mezcla adecuado para efectuar la transferencia de oxígeno y controlar el tamaño del flóculo.

#### **3.3.2.4.5 AIREACIÓN CON OXÍGENO PURO**

En lugar de aire, en esta modificación del proceso de fangos activados se utiliza oxígeno puro. El oxígeno se distribuye mediante difusores en una serie de pequeños reactores de mezcla completa cubiertos y se recicla. En la Figura N° 3.12 se muestra de forma esquemática un sistema de oxígeno puro. Parte del gas procedente de la actividad de los microorganismos se purga para reducir la concentración de CO<sub>2</sub>. También puede ser necesario realizar ajustes de pH, según la capacidad tampón del agua residual y del CO<sub>2</sub> eliminado del sistema. La cantidad de oxígeno añadida es del orden

de cuatro veces superior a la cantidad que se puede añadir con los sistemas de aireación convencionales [Metcalf and Eddy, 1995, p.532].



**Figura N° 3.12: Esquema de un Sistema de Tratamiento de Fangos Activados, Con Oxígeno Puro**  
[Metcalf and Eddy, 1995, p.532]

Una vez descritas las modificaciones más usuales del proceso convencional de fangos activados, puede verse en la Tabla N° 3.3 una comparativa entre estos diferentes tipos de procesos.

**Tabla N° 3.3: Características de Funcionamiento del Proceso de Fangos Activados**  
[Metcalf and Eddy, 1995, p. 625]

| Modificación del Proceso              | Modelo de Flujo                     | Sistema de Aireación                       | Eficiencia de Eliminación de DBO, % | Observaciones Utilizado para, en Aguas Residuales   |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| Convencional                          | Flujo en pistón                     | Disufos de aire aireadores mecánicos       | 85-95                               | Aguas Residuales domésticas de baja concentración, susceptible a cargas de choque.  |
| Reactor de Mezcla Completa            | Reactor de Mezcla Completa Agitado  | Disufos de aire, aireadores mecánicos      | 85-95                               | Aplicaciones generales, resistente frente a cargas de choque, susceptible al desarrollo de crecimientos de organismos filamentosos. |
| Aireación con alimentación escalonada | Flujo en pistón                     | Disufos de aire                            | 85-95                               | Aplicaciones generales en un amplio campo de tipos tipos de aguas residuales.   |
| Aireación Modificada                  | Flujo en pistón                     | Disufos de aire                            | 60-75                               | Conseguir grados intermedios de tratamiento cuando la presencia de tejido celular en el efluente es aceptable.                      |
| Contacto y Estabilización             | Flujo en pistón                     | Disufos de aire, aireadores mecánicos      | 80-90                               | Para la ampliación de sistemas existentes, plantas prefabricadas.   |
| Aireación prolongada                  | Flujo en pistón                     | Disufos de aire, aireadores mecánicos      | 75-95                               | En pequeñas comunidades, plantas prefabricadas, el proceso es flexible.   |
| Aireación de alta carga               | Reactor de Mezcla Completa Agitado  | Aireadores mecánicos                       | 75-90                               | Para aplicaciones generales con aireadores de turbina para transferir el oxígeno y controlar el tamaño de los flocúlos.             |
| Sistema de Oxígeno puro               | Reactor de Mezcla Completa en Serie | Aireadores mecánicos (turbinas sumergidas) | 85-95                               | En aplicaciones generales cuando se dispone de un espacio limitado, es resistente frente a cargas másicas.                          |

**Tabla N° 3.4: Parámetros de diseño para los procesos de fangos activados**  
[Metcalf and Eddy, 1995, p.626]

| Modificación del Proceso  | $\theta_{c,d}$ | F / M<br>kg DBO aplicada<br>kg SSVLM . D | Carga volúmica,<br>kg DBO aplicada/<br>$m^3 \cdot d$ | SSLM, mg/l  | V / Q, h  | Qr / Q      |
|---------------------------|----------------|--|--|---|---|-------------|
| Convencional              | 5 - 15         | 0.20 - 0.40                              | 0.32 - 0.64  | 1500 - 3000   | 4 - 8   | 0.25 - 0.75 |
| Mezcla completa           | 5 - 15         | 0.20 - 0.60                              | 0.80 - 1.92  | 2500 - 4000   | 3 - 5   | 0.25 - 1.00 |
| Alimentación escalonada   | 5 - 15         | 0.20 - 0.40                              | 0.64 - 0.96  | 2000 - 3500   | 3 - 5   | 0.25 - 0.75 |
| Aireación modificada      | 0.2 - 0.50     | 1.5 - 5.0                                | 1.20 - 2.40  | 200 - 1000  | 1.5 - 3.0   | 0.05 - 0.25 |
| Contacto y estabilización | 5 - 15         | 0.20 - 0.60                              | 0.96 - 1.20  | (1000 - 3000) <sup>a</sup><br>(4000 - 10000) <sup>b</sup> | (0.50 - 1.0) <sup>a</sup><br>(3 - 6) <sup>b</sup> | 0.50 - 1.50 |
| Aireación prolongada      | 20 - 30        | 0.05 - 0.15                              | 0.16 - 0.40  | 3000 - 6000   | 18 - 36   | 0.50 - 1.50 |
| Aireación de alta carga   | 5 - 10         | 0.40 - 1.50                              | 1.60 - 1.60  | 4000 - 10000  | 2 - 4   | 1.0 - 5.0   |
| Oxígeno puro              | 3 - 10         | 0.25 - 1.00                              | 1.60 - 3.20  | 2000 - 5000   | 1 - 3   | 0.25 - 0.50 |

a: Unidad de contacto

b: Unidad de estabilización de sólidos

### 3.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Aceites:** numerosos líquidos grasos de orígenes diversos que no se disuelven en el agua y con menor densidad que esta, pueden ser de origen vegetal, animal o componentes del petróleo.

**Acidez:** es la capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte a un pH de 8.20. Se origina en la disolución de CO<sub>2</sub> atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales.

**Acido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S):** es un producto de la descomposición anaerobia de las aguas residuales.

**Aforo:** medida del caudal de una corriente de agua.

**Aguas residuales:** son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado.

**Agua residual doméstica:** Aguas de composición variable, proveniente de las descargas de usos domésticos.

**Aire:** Se denomina aire a la mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre, que permanecen alrededor de la Tierra por la acción de la fuerza de gravedad.

**Aire libre:** es el aire en las condiciones prevalentes a la entrada al compresor, es decir, aire en condiciones atmosféricas.

**Aireación:** es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto íntimo con el aire para modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella.

**Aireación difusa:** inyección de gas, aire u oxígeno, bajo presión, por la parte inferior de la superficie libre del fluido.

**Alcalinidad:** la alcalinidad es la medida de la capacidad tampón de una disolución acuosa, o lo que es lo mismo, la capacidad de ésta para mantener su pH estable frente a la adición de un ácido o una base.

**Alcantarillado:** sistema de estructuras y tuberías usados para el transporte de aguas residuales o servidas (alcantarillado sanitario), o aguas de lluvia, (alcantarillado pluvial) desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se vierten a cauce o se tratan.

**Amoniaco:** El amoníaco o amoniaco es un compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de hidrógeno (H) de acuerdo a la fórmula  $NH_3$ .

**Autólisis:** es un proceso biológico por el cual una célula se autodestruye, ya sea porque no es más necesaria o porque está dañada y debe prevenirse un daño mayor.

**Autopurificación:** acción y efecto de purificar o purificarse, para aguas dulces pueden asimilar una cierta cantidad de polución, sin perjuicios serios, porque el ciclo biológico tiene una capacidad determinada para

acomodarse al mayor suministro de alimento y demás condiciones modificadas.

**Azufre:** Es un elemento químico esencial para todos los organismos y necesario para muchos aminoácidos y, por consiguiente, también para las proteínas. Se usa principalmente como fertilizante pero también en la fabricación de pólvora, laxantes, cerillas e insecticidas.

**Bacterias:** Las bacterias son microorganismos unicelulares que presentan un tamaño de algunos micrómetros de largo (entre 0,5 y 5  $\mu\text{m}$ , por lo general) y diversas formas incluyendo esferas, barras y hélices. Las bacterias son procariotas y, por lo tanto, a diferencia de las células eucariotas (de animales, plantas, etc.), no tienen núcleo ni orgánulos internos.

**Biología:** tiene como objeto de estudio a los seres vivos y, más específicamente, su origen, su evolución y sus propiedades: génesis, nutrición, morfogénesis, reproducción, patogenicidad, etc.

**Biomasa:** materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

**Bomba hidráulica:** artefacto para mover fluidos como bomba de aire, bomba de vacío, bomba de ariete, bomba neumática, bomba de varilla para petróleo, etc.

**Carbohidratos:** son moléculas orgánicas compuestas por carbono, hidrógeno y oxígeno. Son solubles en agua y se clasifican de acuerdo a la cantidad de carbonos o por el grupo funcional que tienen adherido. Son la forma biológica primaria de almacenamiento y consumo de energía.

**Caudal:** es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

**Cloración:** procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados.

**Cloruros:** son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Por lo tanto corresponden al estado de oxidación más bajo de este elemento ya que tiene completado la capa de valencia con ocho electrones.

**Dióxido de carbono:** también denominado dióxido de carbono, gas carbónico y anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Su fórmula química es CO<sub>2</sub>.

**Coagulación:** se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante.

**Coliformes fecales:** bacterias que producen gas a 44.5 °C, en 24 h., como indicador de contaminación, los cuales constituyen los mejores indicadores de la presencia posible de patógenos.

**Coliformes totales:** son un grupo de bacterias que incluyen los géneros Escherichia y Aerobacter. Por constituir un grupo muy numeroso, 2x10<sup>11</sup> organismos por persona por día.

**Compost:** composta o compuesto (a veces también se le llama abono orgánico) es el producto que se obtiene del compostaje, y constituye un "grado medio" de descomposición de la materia orgánica, que ya es en sí un buen abono.

**Cono de Imhoff:** son los así denominados en honor de Karl Imhoff (1876 – 1965), ingeniero alemán especializado en aguas, que concibió un tipo de tanque de doble función -recepción y procesamiento- para aguas residuales.

**Contaminantes:** cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio, irreversible o no, en el medio inicial.

**Corrosión:** puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna.

**Carbono Orgánico Total (COT):** prueba instrumental para medir la cantidad de carbono en el agua residual. Es otro medio para determinar la materia orgánica presente en el agua.

**Compuestos orgánicos volátiles (COV):** son sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en todos los elementos vivos, a veces llamados VOC (por sus siglas en inglés), o COV (por sus siglas en español), se convierten fácilmente en vapores o gases.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO:** es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en generales residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

**Demanda Química de Oxígeno DQO:** es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O<sub>2</sub>/litro.



**Densidad:** es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.

**Desarenador:** es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen, al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas.

**Desinfección:** tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

**Desnitrificación:** La desnitrificación es un proceso que realizan ciertas bacterias durante la respiración usando el nitrato como aceptor de electrones en condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno).

**Detergentes:** son las sustancias que tienen la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo.

**Efluente:** La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua, a un tanque de oxidación, a un tanque para un proceso de depuración biológica del agua, etc. Este es el agua producto dada por el sistema.

**Espumas:** es una capa de líquido globular enclaustrando vapor o gas. Las espumas son como las emulsiones en que capas de adsorción rodean la fase dispersa en ambos sistemas.

**Evaporación:** Al proceso físico en sí, que trata del cambio de estado, de líquido a gaseoso.

**Evapotranspiración:** la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

**Floculación:** es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutina las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

**Flotación:** operación sanitaria empleada para la separación de partículas sólidas y líquidas de la fase líquida. La separación se facilita por la presencia de pequeñas burbujas como consecuencia de la introducción de la fase gaseosa, usualmente aire, al sistema.

**Grasas:** es un término para designar varias clases de lípidos, aunque generalmente se refiere a los acilglicéridos, ésteres en los que uno, dos o tres ácidos grasos se unen a una molécula de glicerina, formando monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos respectivamente. Las grasas están presentes en muchos organismos, y tienen funciones tanto estructurales como metabólicas.

**Helmintos:** gusano parásito, en especial del tracto digestivo del hombre y de otros vertebrados.

**Heterotrófos:** son aquellos que deben alimentarse con las sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos, bien autótrofos o heterótrofos a su vez. Entre los organismos heterótrofos se encuentra multitud de bacterias y predominantemente los animales.

**Hongos:** son eucarióticos, aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y heterótrofos. La mayoría son saprofitos, pues obtienen su alimento de materia orgánica muerta.

**Klebsiella:** es un género de bacterias no móviles, Gram-negativas, con una prominente cápsula de polisacáridos. Es un frecuente patógeno humano, los organismos bacteriales del género *Klebsiella* pueden liderar un amplio rango de estados infecciosos, notablemente neumonía.

**Lignina:** está formada por la extracción irreversible del agua de los azúcares, creando compuestos aromáticos.

**Macrófitas:** Las plantas acuáticas o macrófitas (también llamadas plantas hidrofíticas o hidrofitas o plantas hidrofílicas o higrofitas) son plantas adaptadas a los medios muy húmedos o acuáticos.

**Macroinvertebrados:** se utilizan como indicadores (bioindicadores) de la salud del ecosistema y de la biodiversidad local. Son un componente imprescindible en la cadena alimenticia y la transformación de la materia orgánica.

**Materia orgánica:** Sustancia constituyente o procedente de los seres vivos.

**Metabolismo:** es el conjunto de reacciones y procesos físico-químicos que ocurren en una célula y en el organismo.

**Metano:** En la naturaleza se produce como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas. Este proceso natural se puede aprovechar para producir biogás. Puede constituir hasta el 97% del gas natural.

**Microorganismos:** en su mayoría son unicelulares, aunque en algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.

**Nemátodos:** gusanos nematelmintos redondos, con aparato digestivo, parásitos del hombre o de animales, que requieren uno o más huéspedes intermedios en su ciclo vital..

**Nitrificación:** La nitrificación es la oxidación biológica de amonio con oxígeno en nitrito, seguido por la oxidación de esos nitritos en nitratos.

**Nitrógeno amoniacal:** Nitrógeno combinado en forma de amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). El amoniaco y el amonio son gases que se producen de forma natural por fermentaciones microbianas de productos nitrogenados, por ejemplo en la descomposición de proteínas o urea.

**Nitrógeno Kjeldahl:** mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso. No incluye, por tanto, los nitratos ni los nitritos.

**Nitrógeno total:** En una muestra orgánica, el contenido en nitrógeno medido como la diferencia entre el nitrógeno Kjeldahl y el nitrógeno amoniacal.

**Nutrientes:** Los nutrientes son cualquier elemento o compuesto químico necesario para el metabolismo de un ser vivo. Es decir, los nutrientes son algunas de las sustancias contenidas en los alimentos que participan activamente en las reacciones metabólicas para mantener las funciones el organismo.

**Oxígeno disuelto:** Es uno de los elementos más importantes de la química orgánica y participa de forma muy importante en el ciclo energético de los seres vivos, esencial en la respiración celular de los organismos aeróbicos.

**Oxidación:** La oxidación es una reacción química donde un compuesto cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación.

**Oxigenación:** se refiere a la cantidad de oxígeno en un medio.

**pH:** es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones hidronio [ $\text{H}_3\text{O}^+$ ] presentes en determinada sustancia.

**Presión:** es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

**Proceso aerobio:** proceso de tratamiento biológico que ocurre en presencia de oxígeno.

**Proceso anaerobio:** procesos de tratamiento biológico que ocurre en ausencia de oxígeno.

**Proceso anóxico:** proceso en el cual el nitrógeno del nitrato es convertido biológicamente a nitrógeno gas en la ausencia de oxígeno. Este proceso también se conoce como desnitrificación.

**Proteínas:** son macromoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos.

**Protozoos:** también llamados protozoarios, son organismos microscópicos, unicelulares eucarióticos; heterótrofos, fagótrofos, depredadores o detritívoros, a veces mixótrofos (parcialmente autótrofos); que viven en ambientes húmedos o directamente en medios acuáticos, ya sean aguas saladas o aguas dulces; la reproducción puede ser asexual por bipartición y también sexual por isogametos o por conjugación intercambiando material genético.

**Reactor biológico:** o biorreactor, es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos.

**Relación Alimento / Microorganismos (A/M):** es una forma de expresar la carga de DBO por unidad de masa microbial en este sistema.

**Rotíferos:** constituyen un filo de animales pseudocelomados microscópicos (entre 0,1 y 0,5 mm) con unas 1.800 especies que habitan en aguas dulces, tierra húmeda, musgos, líquenes, hongos, e incluso agua salada.

**Sedimentación:** La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

**Sólidos:** La presencia de sólidos en el agua no se refiere sólo a elementos de gran tamaño visibles a simple vista y susceptibles de flotar o depositarse, sino que incluye a los sólidos microscópicos que permanecen en suspensión en el agua y a los sólidos disueltos –de tamaño iónico- que están presentes en ella.

**Sólidos totales:** Grupo de partículas que incluye a los sólidos disueltos, suspendidos y sedimentables en agua.

**Sólidos totales disueltos:** es una medida grosera de la concentración total de sales inorgánicas en el agua e indica salinidad. Para muchos fines, la concentración de STD constituye una limitación importante en el uso del agua.

**Sólidos totales en suspensión:** cantidad de partículas flotantes o suspendidas en la columna de agua que pueden ser separadas del líquido por medio de medios físicos como la filtración.

**Sólidos fijos:** Los sólidos fijos son los que permanecen luego de calcinar la muestra en mufla a  $550\pm 50^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo normalizado. Se asocian con el contenido inorgánico de la muestra.

**Sólidos sedimentables:** partículas gruesas que se encuentran en un volumen determinado de líquido que se depositarán por gravedad.

**Sólidos suspendidos:** Son los residuos filtrados del agua, desecados a la temperatura normalizada, después de haberlos lavado con un disolvente orgánico con el fin de eliminar aceites.

**Sólidos suspendidos totales:** sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales.

**Sólidos suspendidos volátiles:** sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, capaces de volatilizarse por el efecto de la calcinación a 823 K (550°C) en un tiempo de 15 a 20 minutos.

**Sólidos volátiles:** porción de la materia orgánica que se puede eliminar o volatilizarse cuando esta se quema en un horno mufla a una temperatura de 550 °C.

**Tanque imhoff:** son los así denominados en honor de Karl Imhoff (1876 – 1965), ingeniero alemán especializado en aguas, que concibió un tipo de tanque de doble función -recepción y procesamiento- para aguas residuales.

**Temperatura:** Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico.

**Tiempo promedio de retención celular:** o edad de lodos calculado con base en el volumen del tanque de aireación, puede interpretarse como una medida del tiempo promedio de residencia de los organismos en el sistema.

**Toxicidad:** La toxicidad puede referirse al efecto de esta sobre un organismo completo, como un ser humano, una bacteria o incluso una planta, o a una subestructura, como una célula.

**Tratamiento de aguas residuales:** es un proceso de tratamiento de aguas que a su vez incorpora procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua efluente del uso humano.

**Tratamiento primario:** es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico.

**Tratamiento secundario:** es designado para substancialmente degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes.

**Tratamiento terciario:** proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.)

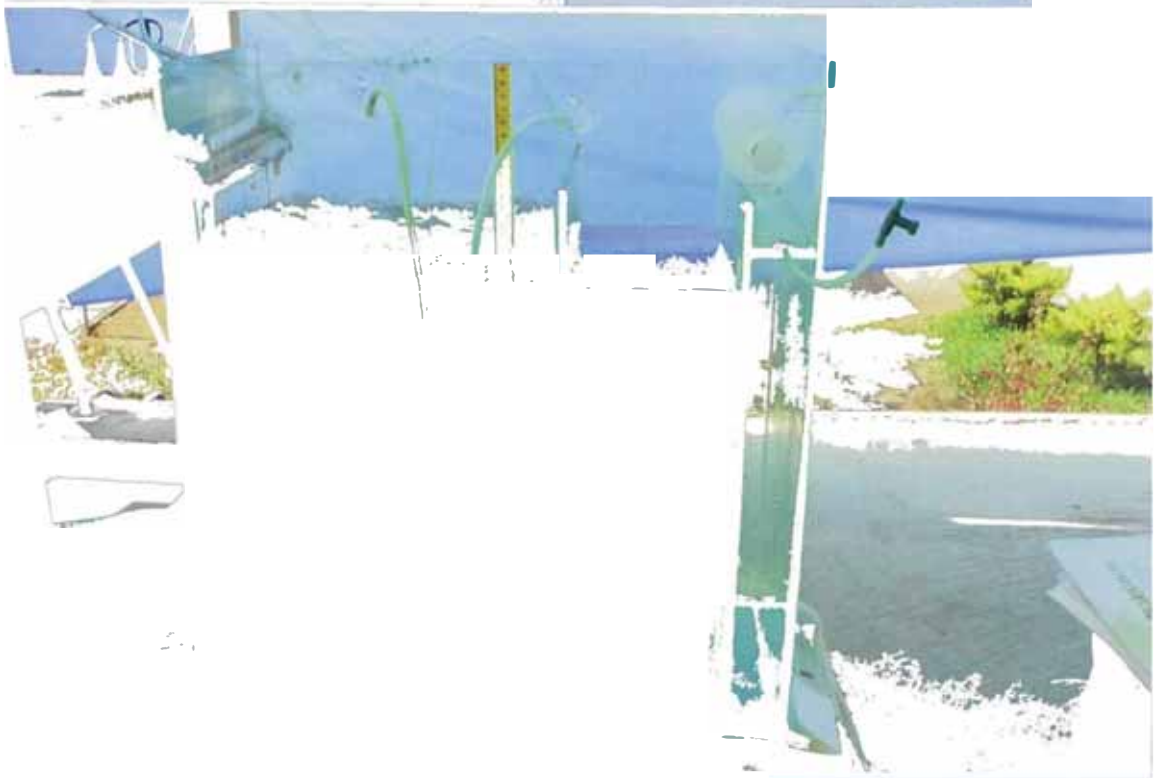
**Turbidez:** Se entiende por turbidez a la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, generalmente se hace referencia al agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.

**Vertederos:** se utilizan para medir caudales de agua.

**Virus:** Las bacterias son microorganismos unicelulares que presentan un tamaño de algunos micrómetros de largo (entre 0,5 y 5  $\mu\text{m}$ , por lo general) y diversas formas incluyendo esferas, barras y hélices. Las bacterias son procariotas y, por lo tanto, a diferencia de las células eucariotas (de animales, plantas, etc), no tienen núcleo ni orgánulos internos.



# CAPITULO IV



## **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### 4.1 UBICACIÓN DE LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se ha diseñado un “Sedimentador Primario” y un tanque rectangular conformado por 3 unidades, las cuales serán denominadas “Reactor Biológico”, “Clarificador Secundario” y “Canal de Recolección” respectivamente. La planta de lodos activados a escala de laboratorio ha sido ubicada en una zona muy cercana al punto de salida de las aguas residuales del área de beneficio, dicha ubicación tiene la finalidad de facilitar la toma de muestra. (Ver Fig. N° 4.1).

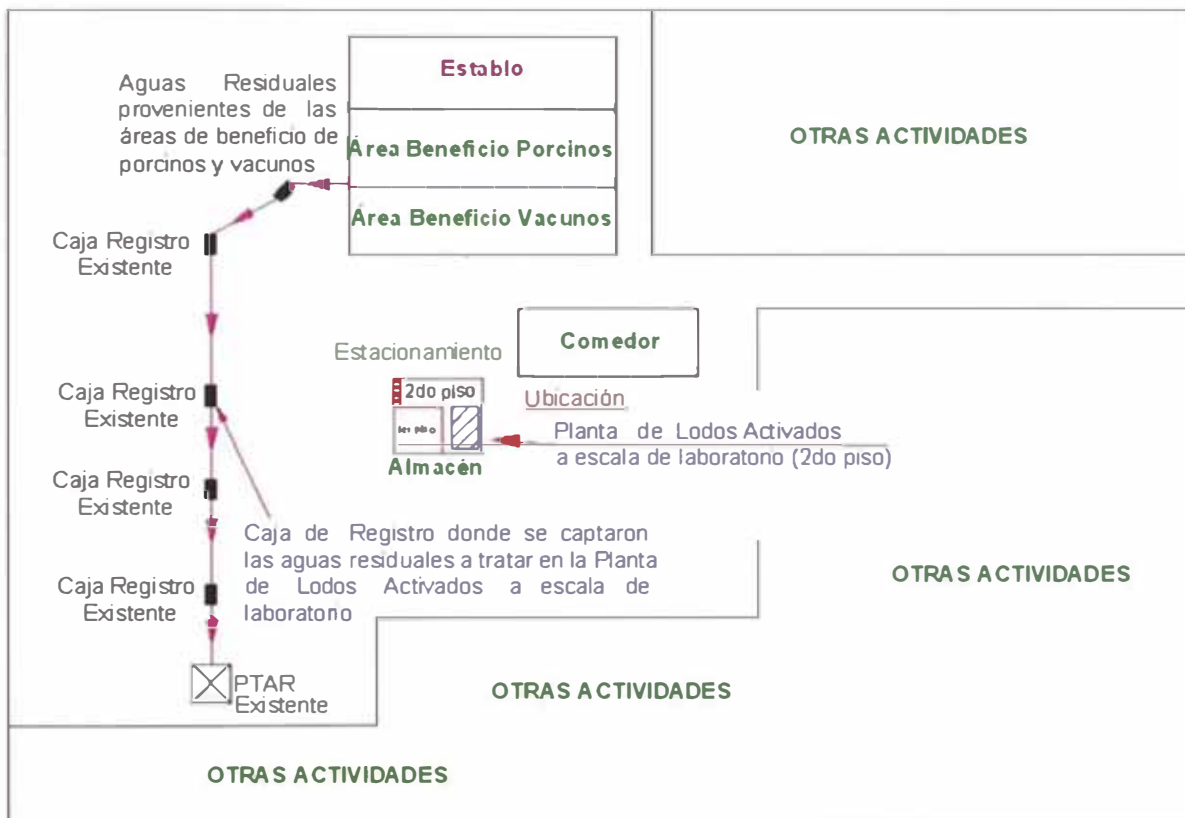


Figura N° 4.1: Ubicación de la Planta de Lodos Activados a Escala Laboratorio

#### 4.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO

La Planta de Lodos Activados a escala laboratorio esta conformado por las siguientes unidades:

1. Un Tanque de Homogenización.
2. Un Sedimentador Primario.
3. Un Tanque, conformado en su interior por un Reactor Biológico, un Clarificador Secundario y un Canal de Recolección de Agua Tratada. Ver Foto N° 4.1

Las dimensiones de las unidades en mención son las siguientes:

1. Tanque de Homogenización, es un tanque de plástico con una capacidad de 50 lts.
2. Sedimentador Primario, de vidrio transparente de 6 mm de espesor, con 0.25m de ancho por 0.50 de largo (área 0.125 m<sup>2</sup>) y con una altura de 0.39m. (vol. 46 lts)
3. Tanque que tiene 03 unidades es de material vidrio transparente de 6 mm; y las unidades son:
  - 3.1 Reactor Biológico; 0.32m de largo por 0.25m de ancho (área 0.08 m<sup>2</sup>) con una altura de 0.50m. (vol. Útil de 40 lts).
  - 3.2 Sedimentador secundario; 0.15m de largo por 0.25m de ancho (área 0.0375 m<sup>2</sup>) con una altura de 0.50m. (vol. 18 lts).
  - 3.3 Canal de recolección; 0.05m de largo por 0.25m de ancho (área 0.0125 m<sup>2</sup>) con una altura de 0.05 m.

El tanque de homogenización va cumplir la función de homogenizar la composición del agua residual obtenida a la salida del área de beneficio y

además como está ubicado en una cota superior servirá para darle carga al sistema.

El sedimentador primario tiene una contra pendiente de 5.0% inclinado en sentido contrario a la salida del agua residual sedimentada, con la finalidad de evitar obstrucción de la válvula de salida y asimismo en el recorrido de ella a través de la manguera de 10.08 mm de diámetro de plástico flexible.

El sedimentador primario alimenta al reactor biológico a través de una manguera de 10.08mm de diámetro que llega a un tubo de PVC de 5/8", luego de un período de retención el agua residual pasa hacia el clarificador secundario para posteriormente dirigirse al canal de recolección.

En la siguiente Foto N° 4.1 se muestra como es la distribución de la planta de Lodos Activados a escala de laboratorio.

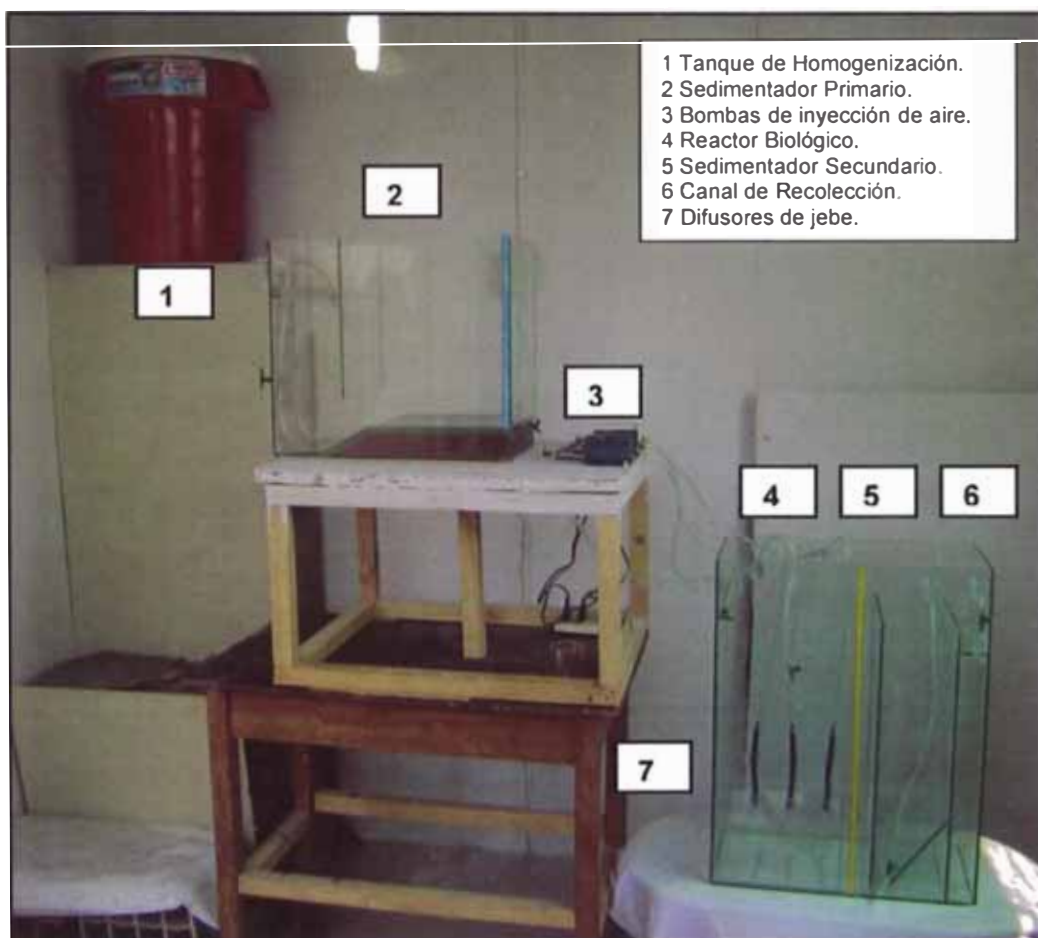


Foto N° 4.1: Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio

### 4.3 MATERIALES DE FABRICACIÓN

Los materiales usados para la fabricación y algunos elementos complementarios en la planta de lodos activados a escala laboratorio, se mencionan a continuación:

- Balde de Plástico de 50 lts de capacidad incluido válvula esférica.
- Manguera de Ø 10.08 mm.
- Manguera de Ø 5.78 mm
- 02 Tuberías de PVC de Ø 5/8" y una longitud de 0.26m
- Vidrio de 6 mm de espesor para el sedimentador primario.
- 02 mesas de madera
- Vidrio de 6 mm de espesor para el diseño del Tanque (reactor + sedimentador + canal recolección)
- Silicona para de vidrio
- 07 válvulas reguladoras de caudal.
- 06 bombas de pecera
- 02 bombas sumergibles
- Difusores porosos en forma de cilindro

### 4.4 CRITERIOS DE DISEÑO

#### 4.4.1 Determinación de parámetros biocinéticos

Para el diseño respectivo de las unidades como el Reactor Biológico y Sedimentador Secundario, se realizó primero un diseño preliminar de la planta de lodos activados con parámetros biocinéticos calculados mediante un experimento previo realizado por los tesisistas trabajando con el agua residual proveniente del área de beneficio del camal. En base a estos parámetros, se trabajó el diseño respectivo, siendo la metodología de trabajo preliminar la siguiente:

- I. Caracterización del agua residual del camal.

- II. Aplicación de lodo activo proveniente de una planta de lodos activados real, en este caso de la Planta de Lodos Activados de San Antonio de Carapongo. (TRH en este diseño fue de 3,4 y 5 horas en un día de trabajo).
- III. Determinación de resultados mediante análisis de los parámetros de DQO y DBO en el afluente y efluente, y finalmente SSV en el reactor.
- IV. Determinación de los parámetros biocinéticos.
- V. Diseño de la planta de lodos activados con los parámetros biocinéticos y la determinación del número de bombas para la aplicación de Oxígeno al reactor que se instalará.



**Foto N° 4.2: Aireación para TRH de 3; 4 y 5 horas**  
(Este trabajo se realizó el 13 de febrero de 2009)

A continuación se describe la metodología de trabajo para la determinación de los parámetros biocinéticos:

#### **I. Caracterización del agua residual del camal**

En la Tabla N° 4.1 se aprecia la caracterización del agua residual para la determinación de los parámetros biocinéticos. La toma de

la muestra del agua residual fue el día 04 de Febrero a las 7.00 am en las instalaciones del Camal (ver Foto N° 4.3)

El agua residual es proveniente del área de Beneficio, la cual está ubicada en las instalaciones del Camal, la toma de muestra se realizó en una caja de registro cuyas dimensiones son 0.60m de ancho por 0.60m de largo y una profundidad de 0.40m.



Foto N° 4.3: Toma de Muestra de Agua Residual

Tabla N° 4.1: Concentraciones del Agua Residual del Camal

| PARAMETRO              | UNIDAD    | RESULTADOS          | FECHA    |
|------------------------|-----------|---------------------|----------|
| Ph *                   |           | 7.20                | 04/02/09 |
| DQO *                  | mg/L      | 8 810.00            | 04/02/09 |
| DBO5 *                 | mg/L      | 3 266.70            | 04/02/09 |
| SST *                  | mg/L      | 2 795.00            | 04/02/09 |
| SDT*                   | mg/L      | 4 795.00            | 04/02/09 |
| ST , ST = SDT - SST    | mg/L      | 2 000.00            | 04/02/09 |
| SSV *                  | mg/L      | 145.00              | 04/02/09 |
| Aceites y grasas *     | mg/L      | 0.40                | 04/02/09 |
| Nitrógeno Total **     | mg/L      | 2.59                | 04/02/09 |
| Nitrógeno Amoniacal ** | mg/L      | 24.88               | 04/02/09 |
| Nitrógeno Orgánico **  | mg/L      | 2.41                | 04/02/09 |
| Fósforo Total **       | mg/L      | 51.25               | 04/02/09 |
| Coliformes Fecales *   | NMP/100ml | 7.0x10 <sup>9</sup> | 04/02/09 |
| Coliformes Totales *   | NMP/100ml | 9.0x10 <sup>9</sup> | 04/02/09 |
| Alcalinidad Total **   | mg/L      | 640.80              | 04/02/09 |

(\*) Ensayos se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

(\*\*) Ensayos realizados en el Laboratorio Ambiental Laboratories Perú SAC.

## II. Aplicación de lodo activo proveniente de una planta de lodos activados real

En la Tabla N° 4.2 se aprecia las características físico-químicas y bacteriológicas del lodo aplicado como inóculo en el reactor para la determinación de los parámetros biocinéticos para el diseño de la Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio.

Para la inoculación se utilizaron tres envases plásticos en los cuales se mantuvo una relación de agua residual con lodo de 3 a 1, luego se procedió a la inyección de aire por medio de un difusor poroso en forma de cilindro para un TRH de 3; 4 y 5 horas.

**Tabla N° 4.2: Caracterización del Lodo de la PTAR de San Antonio de Carapongo (Lodo Crudo)**

| Ítem | Parámetros  | Unidad  | Resultados         |
|------|---|---------|--------------------|
| 1    | pH  | -       | 6.3                |
| 2    | Sólidos Totales   | mg/Kg   | 57,237             |
| 3    | Sólidos Volátiles   | mg/Kg   | 33,753             |
| 4    | Nitrógeno Amoniacal   | mg/Kg   | 272.5              |
| 5    | Fósforo Total   | mg/Kg   | 147.28             |
| 6    | D.B.O.  | mg/Kg   | 35,000             |
| 7    | D.Q.O.  | mg/Kg   | 46,598             |
| 8    | Humedad   | %       | 94.9               |
| 9    | Nitrógeno Total   | g/100g  | 1.81               |
| 10   | Nitrógeno Orgánico  | g/100g  | 0.38               |
| 11   | Coliformes Fecales  | NMP/10g | 79x10 <sup>4</sup> |
| 12   | Coliformes Totales  | NMP/10g | 16x10 <sup>6</sup> |
| 13   | Coloración de Ziehl Neelsen<br>Cryptosporidium sp (Recuento)                                    | 25g     | <1                 |
| 14   | Observación de Enteroparásitos<br>y quistes de Protozoarios<br>(Recuento)<br>Helmintos (huevos) | 25g     | <1                 |
| 15   | Observación de Enteroparásitos<br>y quistes de Protozoarios<br>(Recuento)<br>Quistes/Ooquistes  | 25g     | <1                 |
| 16   | Salmonella (Detección)  | 25g     | Ausencia           |

Todos los ensayos se realizaron en el laboratorio de Environmental Laboratories Perú SAC.



### III. Determinación de resultados mediante análisis de los parámetros de DQO y DBO en el afluente y efluente, y finalmente SSV en el reactor

A continuación en la Tabla N° 4.3 se presenta los resultados obtenidos de DQO, DBO y SSV del afluente y efluente durante el día de trabajo, siendo esta un preliminar para el diseño respectivo de la Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio.

**Tabla N° 4.3: Caracterización del Agua Residual Tratada del Camal**

| FECHA                          | TRH   | PARAMETRO (*) | UNIDAD | RESULTADOS |         |          |
|--------------------------------|-------|---------------|--------|------------|---------|----------|
|                                |       |               |        | Afluente   | Reactor | Efluente |
| Viernes, 13 de Febrero de 2009 | 3 Hrs | DQO           | mg/L   | 4890       | -       | 3000     |
|                                |       | DBO           | mg/L   | 2738       | -       | 1100     |
|                                |       | SSV           | mg/L   | -          | 1167    | -        |
|                                | 4 Hrs | DQO           | mg/L   | 4890       | -       | 2300     |
|                                |       | DBO           | mg/L   | 2738       | -       | 700      |
|                                |       | SSV           | mg/L   | -          | 1001    | -        |
|                                | 5 Hrs | DQO           | mg/L   | 4890       | -       | 2300     |
|                                |       | DBO           | mg/L   | 2738       | -       | 900      |
|                                |       | SSV           | mg/L   | -          | 1131    | -        |

(\*) Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Environmental Laboratories Perú SAC

### IV. Determinación de Parámetros Biocinéticos

Con los resultados obtenidos en el laboratorio se procedió a determinar los parámetros biocinéticos para esta agua residual del camal, pero es importante recalcar que estos parámetros solo se determinaron para poder hacer un diseño de la Planta de Lodos Activados a escala de laboratorio, después de la implementación de la planta de lodos en el camal, y durante un lapso de 2 meses de análisis en forma diaria se podrá determinar los parámetros más precisos para este tipo de agua residual.

Los parámetros biocinéticos que se determinaron con los resultados obtenidos fueron:

- K: Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de m.o.
- K<sub>s</sub>: Constante de saturación de sustrato
- K<sub>d</sub>: Constante de declinación endógena
- Y: Constante de producción de lodos
- U<sub>m</sub>: Máxima tasa de crecimiento específico

A partir de la Tabla 4.4: se realiza un cuadro de resumen para el cálculo de parámetros biocinéticos:

**Tabla N° 4.4: Cuadro de Resumen**

| FECHA                 | DQO (mg/lts) | DQO (mg/lts) | Θ = Θ <sub>c</sub> | X         |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------------|-----------|
|                       | AFLUENTE (*) | EFLUENTE (*) | días               | mg SSV/lt |
| Viernes 13 de Febrero | 4890         | 3000         | 0.1250             | 1167      |
|                       | 4890         | 2300         | 0.1667             | 1001      |
|                       | 4890         | 2300         | 0.2083             | 1131      |

(\*)Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Environmental Laboratories Perú SAC.

A través de las ecuaciones planteadas en el capítulo III, se deduce los siguientes cuadros para la determinación de los parámetros biocinéticos, seguido bajo la metodología de **Jairo Alberto Romero Rojas "Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño"-Colombia 2005**. Ver Cuadro N° 4.1.

**a. Cálculo de k, K<sub>s</sub>**

De conformidad con la ecuación I, se elabora el cuadro respectivo

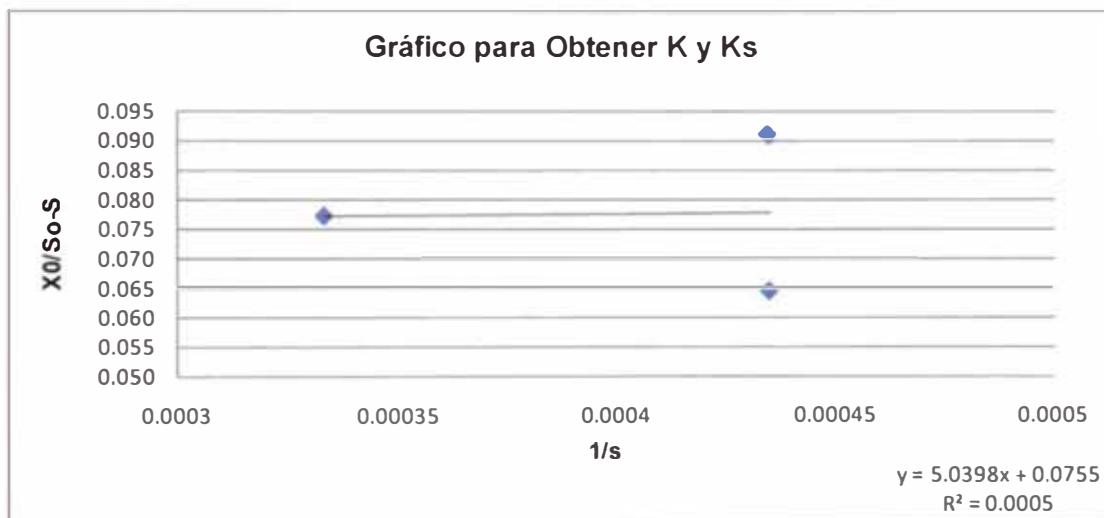
$$\frac{X\theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{K\theta} + \frac{1}{K} \quad \dots \text{Ecuación I}$$

Cuadro N° 4.1: Cuadro de Cálculos de k, K<sub>s</sub>

| $s_0 - s$<br>mg/lit | $x\theta$<br>mg SSV*día/lts | $x\theta / s_0 - s$<br>día | $1/s$<br>lts/mg | $1/\theta_c$<br>d <sup>-1</sup> | $(s_0 - s)/x\theta$<br>d <sup>-1</sup> |
|---------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------------|--|
| 2590                | 235.59                      | 0.091                      | 0.00043         | 4.8                             | 11.0                                   |
| 2590                | 166.87                      | 0.064                      | 0.00043         | 6.0                             | 15.5                                   |
| 1890                | 145.88                      | 0.077                      | 0.00033         | 8.0                             | 13.0                                   |

Nota: El cuadro de Cálculo se encuentra en forma decreciente con respecto al TRH.

Con estos resultados se elabora el gráfico de  $X\theta / (S_0 - S)$  en la ordenada y  $1/S$  en la abscisa para obtención de una recta, obteniéndose los resultados mediante la aplicación de mínimos cuadrados, tal como se muestra en el Gráfico N° 4.1:

Gráfico N° 4.1: Obtención de K y K<sub>s</sub>

De los resultados:

$$\begin{aligned} 1/K &= 0.0755 \\ K &= 19.245 \text{ d}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_s / K &= 5.040 \\ K_s &= 66.752 \text{ mg/lit} \end{aligned}$$

#### b. Cálculo de Y y K<sub>d</sub>

De conformidad con la ecuación II, se elabora el Cuadro N° 4.2 respectivo:

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{Y(S_0 - S)}{X\theta} - K_d \quad \dots \text{Ecuación II}$$

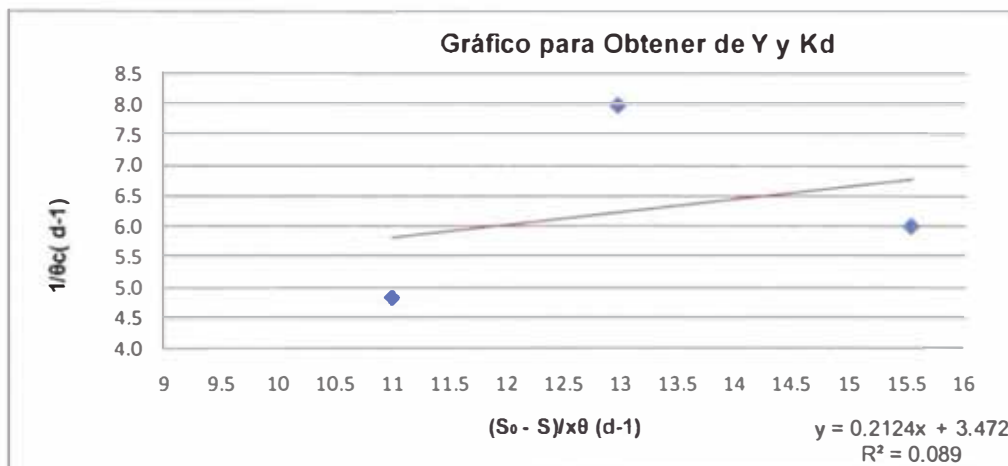
**Cuadro N° 4.2: Cuadro de Cálculos de Y y K<sub>d</sub>**

| $(S_0 - S) / (X\theta)$ | $(1/\theta)$ |
|-------------------------|--------------|
| 11.0                    | 4.80         |
| 15.50                   | 6.00         |
| 13.00                   | 8.00         |

Nota: El cuadro de Cálculo se encuentra en forma decreciente con respecto al TRH

Con estos resultados se elabora un gráfico de  $1/\theta$  contra  $(S_0 - S)/X\theta$ , para obtener una recta cuya pendiente es igual a Y y cuya ordenada en el origen es igual a K<sub>d</sub>. Asimismo  $\mu_m = KY$ , a continuación se muestra la Gráfica N° 4.2

**Gráfico N° 4.2: Obtención de Y y K<sub>d</sub>**



De los resultados

$$K_d = 3.47 \quad \text{d}^{-1}$$

$$Y = 0.21 \quad \text{mg SSVLM / DQO consumido}$$

$$\mu_m = 2.81 \quad \text{d}^{-1}$$

Finalmente, con los resultados obtenidos se presentan la Tabla N° 4.5 de Resumen con los Parámetros Biocinéticos

para el diseño de la Planta de Lodos a Escala de Laboratorio.

**Tabla N° 4.5: Parámetros Biocinéticos**

| PARAMETRO      | NOMBRE  | UNIDAD                   | VALORES |
|----------------|---|--------------------------|---------|
| K              | Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa de m.o. | d <sup>-1</sup>          | 13.25   |
| Ks             | Constante de saturación de sustrato                               | mg/lit                   | 66.75   |
| Kd             | Constante de declinación endógena                                 | d <sup>-1</sup>          | 3.47    |
| Y              | Constante de producción de lodos                                  | mg SSVLM / DQO consumido | 0.21    |
| μ <sub>m</sub> | Máxima tasa de crecimiento específico                             | d <sup>-1</sup>          | 2.81    |

## V. Diseño de la Planta de Lodos a Escala de Laboratorio y Determinación del número de Bombas.

### V.1. Diseño de la Planta de Lodos a Escala de Laboratorio

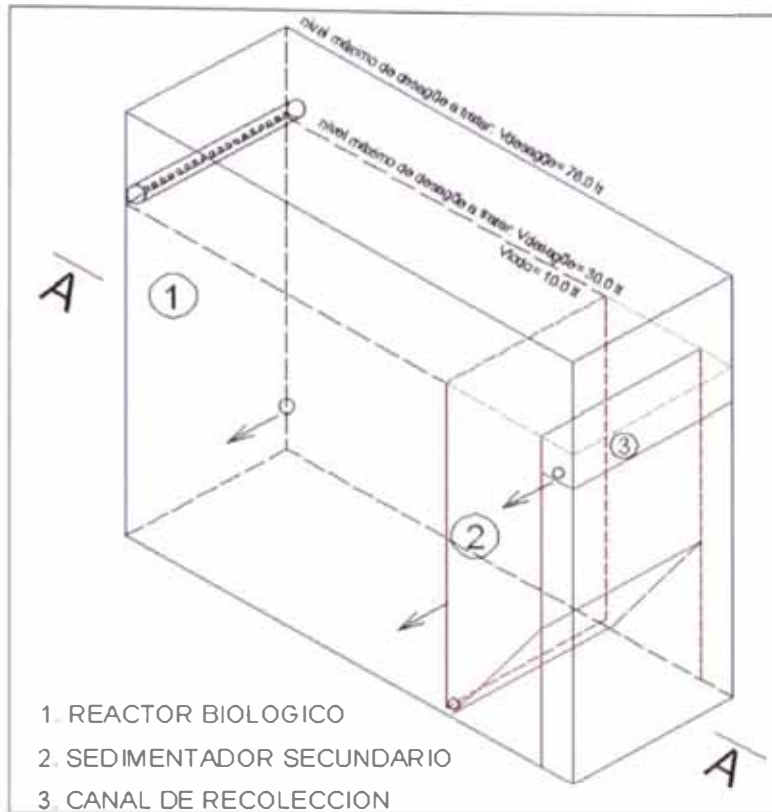
Con estos parámetros biocinéticos determinados en laboratorio y con el agua residual del camal que será aplicada a la planta de Lodos Activados, se diseñó la planta a Escala de Laboratorio, trabajando con un caudal de diseño de 30 l.p.d y un tiempo de retención hidráulica de 4 horas<sup>1</sup>.

Se presenta a continuación los cálculos realizados para el dimensionamiento de las unidades de la planta de lodos activados a escala de laboratorio, asimismo el cálculo del número de difusores utilizados:

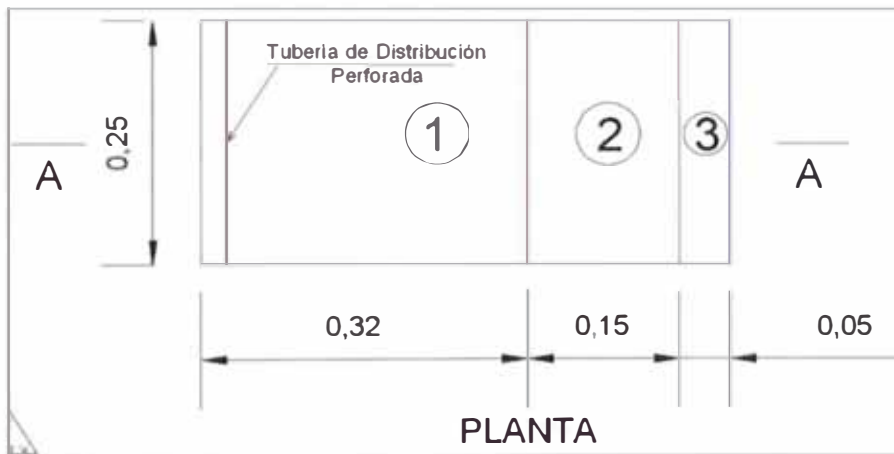
<sup>1</sup> El tiempo de Retención hidráulico se encuentra dentro del rango recomendado en el libro Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición, Metcalf and Eddy, 1995, p.609.

| DISEÑO DE LODOS ACTIVADOS  |                             |  |
|--|-----------------------------|--|
| <b>I. DATOS DE LA ALIMENTACIÓN INICIAL</b>   |                             |  |
| Caudal   |                             | 30 l/día<br>3.47E-07 m <sup>3</sup> /seg |
| Concentración de DBO afluente  |                             | 0.03 m <sup>3</sup> /día<br>2738 mg/lit  |
| Concentración de DQO afluente  | $S_i$                       | 4890 mg/lit                              |
| Sólidos volátiles en la alimentación inicial   |                             | 0.00 mg/lit                              |
| Alcalinidad total de la alimentación inicial   |                             | 640.80 mg/lit                            |
| Temperatura  | verano                      | 20 °C                                    |
|  | invierno                    | 13 °C                                    |
| Relación entre los SSVLM/SS líquido de la mezcla   |                             | 0.80                                     |
| <b>II. DATOS SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE</b>   |                             |  |
| Concentración de DQO Efluente  | $S_e$                       | 500 mg/lit                               |
| Concentración de DBO Efluente  |                             | 250 mg/lit                               |
| Sólidos en suspensión en el efluente   |                             | 300 mg/lit                               |
| <b>III. INFORMACIÓN SOBRE EL DISEÑO DEL REACTO BIOLÓGICO</b>   |                             |  |
| Valor de diseño de la concentración de MLVSS en el reactor   | $X_{v,a}$                   | 3000 mg/lit                              |
| Valor de diseño de la concentración de VSS en la corriente reciclado   |                             | 12000 mg/lit                             |
| Porcentaje de sólidos volátiles en MLSS es 80% (Fv)  |                             | 0.80                                     |
| Temperatura de aire de ambiente  | verano                      | 25 °C                                    |
|  | invierno                    | 10 °C                                    |
| Parámetros biocinéticos a temperatura de laboratorio   |                             |  |
| Tasa máxima de utilización de sustrato por unidad de masa  | $K =$                       | 13.25 d <sup>-1</sup>                    |
| Constante de saturación de sustrato  | $K_s =$                     | 66.75 mg/lit                             |
| Constante de declinación endógena  | $K_d =$                     | 3.47 d <sup>-1</sup>                     |
| Constante de Producción de lodos   | $Y =$                       | 0.21 mg SSVLM / DQO cons.                |
| Edad de lodo   | $\theta_c =$                | 12 días                                  |
| coef. de arrhenius para $K_d$ ( $1.03 < \theta < 1.06$ )   | $\theta =$                  | 1.05                                     |
| coef. de arrhenius para $K$ ( $1.0 < \theta < 1.135$ )   | $\theta =$                  | 1.03                                     |
| Nota: Los datos colocados de la DBO fueron analizados en el laboratorio N° 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI, mientras que los demás parámetros se realizaron en el laboratorio de Environmental Laboratorios Perú SAC |                             |  |
| <b>III.1 Kg DBO<sub>5</sub> / día producido</b>  |                             |  |
| Kg DBO <sub>5</sub> / día = $86.4 \cdot Q_f \cdot (S_i - S_e)$   |                             |  |
| Carga orgánica de diseño   | Kg DBO <sub>5</sub> / día = | 0.1317                                   |
| <b>III.2 Estimación preliminar de la Potencia</b>  |                             |  |
| HP = $86.4 \cdot Q_f \cdot (S_i - S_e) / 21$   |                             |  |
| Potencia de la bomba   | HP =                        | 0.00627                                  |
|  | watts =                     | 4.68                                     |
| <b>III.3 Estimación del <math>T_w</math></b>   |                             |  |
| $T_w = (3.6 \times 10^6 \cdot Q_f \cdot T_i + 1134 \cdot \text{HP} \cdot T_a) / (3.6 \times 10^6 \cdot Q_f + 1134 \cdot \text{HP})$  |                             |  |
| a) Condiciones de verano   | $T_i =$                     | 20 °C                                    |
|  | $T_a =$                     | 25 °C                                    |
|  | $T_w =$                     | 24 °C                                    |
| b) Condiciones de invierno   | $T_i =$                     | 13 °C                                    |
|  | $T_a =$                     | 10 °C                                    |
|  | $T_w =$                     | 10 °C                                    |

|              |   |  |   |
|--------------|---|--|---|
| <b>III.4</b> | <b>Valores de parámetros Biocinéticos para T°C Tw de invierno y verano</b><br>Para $K_{24} K_{tw} = K_{20} \theta^{(T_w-20)}$<br>Para $K_{d,24} K_{d,tw} = K_{d,20} \theta^{(T_w-20)}$  |  |   |
| a)           | Condiciones de verano   | $T_w =$<br>$K =$<br>$K_s =$<br>$K_{d,tw} =$<br>$K_{inv} =$ | 24 °C<br>15.02 d <sup>-1</sup><br>75.69 mg/l<br>4.27 d <sup>-1</sup><br>0.198 d <sup>-1</sup> ·l/mg |
| b)           | Condiciones de invierno   | $T_w =$<br>$K =$<br>$K_s =$<br>$K_{d,tw} =$<br>$K_{inv} =$ | 10 °C<br>9.99 d <sup>-1</sup><br>50.33 mg/l<br>2.18 d <sup>-1</sup><br>0.198 d <sup>-1</sup> ·l/mg  |
|              | el parámetro Y es independiente de la temperatura, esto es:   | $Y =$  | 0.21 Kg MLVSS prod / Kg DBO   |
| <b>III.5</b> | <b>Tiempo de residencia Tr</b>  |  |   |
| a)           | Primer criterio: condiciones de invierno<br>$t = (S_r - S_a) / K_{inv} X_{v,a} S_a$   | $t =$<br>$t =$   | 0.015 hr<br>0.35 días   |
|              | Segundo criterio: condiciones de laboratorio<br>$t = S_r / X_{v,a} (A/M)_{opt}$   | $(A/M) =$<br>$t =$   | 1.630 d <sup>-1</sup><br>1.00 días  |
|              | Recalculando el tiempo de retención, se tiene:  | $t =$  | 1.00 días   |
| b)           | Relación actual de (A/M)<br>$A/M = S_r / X_{v,a} t$   | $(A/M) =$  | 1.630 d <sup>-1</sup>   |
| c)           | DBO soluble real en el efluente (condiciones de verano)<br>$S_a = S_r / (1 + K_{24} X_{v,a} t)$<br>Bajo las condiciones de TRH = 4 horas se tiene:  | $S_a =$<br>$S_a =$   | 8.201 mg/l<br>48.80 mg/l  |
| <b>III.6</b> | <b>Volumenes Útiles</b>   |  |   |
|              | <b>Volumen Útil del Reactor (Vre)</b>   | $V_{re} =$<br>$V_{re} =$                                   | 0.04 m <sup>3</sup><br>40.00 lt   |
|              | Dimensiones:<br>a (re): ancho del reactor<br>l (re) : largo del reactor<br>h (re): altura útil del reactor<br>Comprobando el volumen útil del reactor (Vre)   | a (re) =<br>l (re) =<br>h (re) =<br>$V_{re} =$             | 0.25 m<br>0.32 m<br>0.50 m<br>40.00 lt  |
|              | <b>Volumen Útil del Clarificador (Vcl)</b>  | $V_{cl} =$<br>$V_{cl} =$                                   | 0.018 m <sup>3</sup><br>18.00 lt  |
|              | Dimensiones:<br>a (cl): ancho del clarificador<br>l (cl) : largo del clarificador<br>h (cl): altura útil del clarificador   | a (cl) =<br>l (cl) =<br>h (cl) =                           | 0.25 m<br>0.15 m<br>0.50 m  |
|              | <b>Volumen Útil de Canaleta de Recolección (Vcr)</b>  | $V_{cr} =$<br>$V_{cr} =$                                   | 0.0006 m <sup>3</sup><br>0.60 lt  |
|              | Dimensiones:<br>a (cr): ancho de la canaleta de recolección<br>l (cr) : largo de la canaleta de recolección<br>h (cr): altura útil de la canaleta de recolección<br>Comprobando el volumen útil de la canaleta de recolección (Vcr) | a (cr) =<br>l (cr) =<br>h (cr) =<br>$V_{cr} =$             | 0.250 m<br>0.050 m<br>0.050 m<br>0.0006 m <sup>3</sup>  |
|              | <b>Volumen Útil Total (Vt)</b>  | $V.U. t =$<br>$V.U. t =$                                   | 0.0586 lt<br>58.60 m <sup>3</sup>   |
|              | <b>Altura Libre (al)</b>  | $al =$   | 0.10 m  |
|              | <b>Volumen Total (Vt)</b><br>Dimensiones:<br>a (t): ancho total<br>l (t) : largo total<br>h (t): altura total (altura útil + altura libre)  | a (t) =<br>l (t) =<br>h (t) =<br>$V_t =$                   | 0.250 m<br>0.520 m<br>0.600 m<br>0.078 m <sup>3</sup>   |



**Figura N° 4.2:**  
**Isométrico de Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio**



**Figura N° 4.3: Vista de Planta**



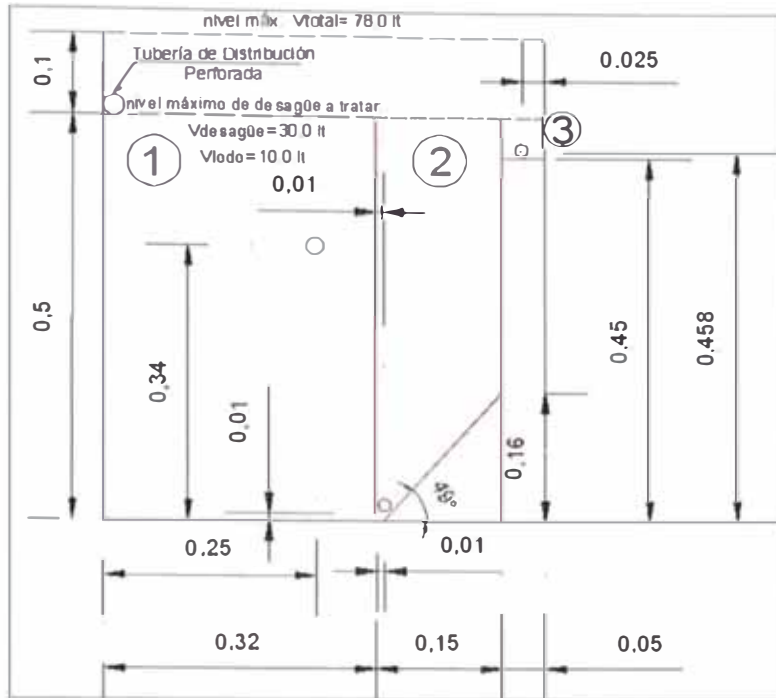


Figura N° 4.4: Corte A-A

|              |  |                     |                   |
|--------------|--|---------------------|-------------------|
| <b>III.7</b> | <b>Calcular la cantidad de lodo a purgar diariamente</b>   |                     |                   |
| a)           | Determinar $Y_{obs}$<br>$Y_{obs} = Y / (1 + k_d \theta_c)$   | $Y_{obs} =$         | 0.0041            |
| b)           | Determinar la masa de lodo activado volátil purgado<br>$P_x = Y_{obs} Q (S_0 - S)$   | $P_x =$             | 0.000558 Kg / día |
| c)           | Determinar masa total lodos en base a sólidos totales suspensión<br>$P_{x(ss)} = P_x / \text{relación}$  | $P_{x(ss)} =$       | 0.00070 Kg / día  |
| d)           | Determinar la cantidad de lodo a purgar<br>Masa purgar (MP) = incremento SSLM - SS perdidos en el efluente   | MP =                | 3.98E-04 Kg / día |
| <b>III.8</b> | <b>Calcular la demanda de oxígeno basandose en la demanda carbonosa última</b>   |                     |                   |
| a)           | Calcular masa de DBO L última del agua residual afluente que se convierte en el proceso $DBO_5 = 0.68 \cdot DBO_L$<br>masa $DBO_L$ utilizada = $Q(S_0 - S) / 0.68$ | $DBO_L$ utilizada = | 0.1937 Kg / día   |
| b)           | Calcula demanda de oxígeno<br>$Kg O_2 / día = (Q(S_0 - S) \cdot 1000 / f) - 1.42P_x$   | $Kg O_2 / día =$    | 0.192884          |
|              |  | $Kg O_2 / hr =$     | 0.008037 teórico  |
|              |  | $Kg O_2 / hr =$     | 0.003416 práctico |

## V.2. Determinación del Número de Bombas para la Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio

Para el suministro del aire que se inyectara a la planta de lodos activados, se realizará mediante unos difusores

porosos de 2" de longitud y a través de unas bombas, las cuales se determino en laboratorio la capacidad Nominal del equipo en el proceso de aireación por Difusión, a continuación se muestra en el Cuadro N° 4.6 las características de las bombas que se utilizo en el funcionamiento del sistema a escala de laboratorio:

**Cuadro N° 4.3: Características de las Bombas**

| Ítem         | Descripción |              |                     |
|--------------|-------------|--------------|---------------------|
| Marca        | ELITE       | ELITE        | RESUN               |
| Modelo       | 800         | 801          | SP-980, Submersibe  |
| Voltaje      | 220         | 220          | 100-120/220-240 V   |
| Frecuencia   | 50 Hz       | 50 Hz        | 50/60Hz             |
| Potencia     | 2.00 watts  | 3.00 watts   | 9.00 watts          |
| Air Outoput  | 800 cc/min  | 1,000 cc/min | -                   |
| Presión      | 2.50 PSI    | 3.00 PSI     | -                   |
| For Aquarius | 37.80 lt.   | 57.00 lt.    | -                   |
| H máx.       | -           | -            | 1.30 m              |
| Q máx.       | -           | -            | 550 L/H (9.18L/min) |

Con dichas bombas y con las condiciones que se muestran en el siguiente Cuadro N° 4.7, se procedió a realizar las pruebas para la determinación de capacidad de oxígeno por bomba:

**Cuadro N° 4.4: Condiciones de Funcionamiento durante las Pruebas**

| Recipiente | Volumen (lt) | Tipo de Bomba * | Potencia (Watts) | Tipo de Aireación | Tipo Difusor            | T (°C) | pH   | O.D. Inicio mg/lt |
|------------|--------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------------|--------|------|-------------------|
| R1         | 20           | Elite 800       | 2.00             | Difusión          | Cilindrico              | 17.60  | 6.66 | 6.50              |
| R2         | 20           | Elite 800       | 3.00             | Difusión          | Cilindrico              | 17.30  | 6.46 | 6.50              |
| R3         | 20           | Elite 801       | 9.00             | Chorro            | -                       | 17.10  | 6.59 | 6.50              |
| R4         | 20           | Resun SP-980    | 2.00             | Difusión          | Manguera jebe Agujerada | 17.40  | 6.50 | 6.50              |

\*: Ver Cuadro N° 4.6: Características de las Bombas Utilizadas.

Con todas estas condiciones se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se muestran en el siguiente Cuadro N° 4.8.

**Cuadro N° 4.5: Resultados de OD en el Tiempo**

| Recipiente  | Tiempo (minutos)         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|-------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
|             | 0                        | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60 |
|             | Oxígeno Disuelto (mg/lt) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| R1-Difusión | 0.00                     | 0.20 | 0.40 | 1.10 | 1.50 | 2.50 | 3.30 | 3.70 | 4.80 | 5.20 | 6.50 | 6.80 | 7.90 | 8.20 | 8.70 | -  |
| R2-Difusión | 0.00                     | 0.30 | 1.60 | 1.90 | 2.00 | 2.40 | 3.60 | 4.00 | 5.40 | 5.80 | 6.90 | 7.10 | 8.50 | 8.90 | -    | -  |
| R3-Chorro   | 0.00                     | 1.00 | 1.70 | 2.60 | 3.60 | 4.00 | 5.30 | 6.50 | 7.00 | 7.60 | 8.00 | 8.60 | -    | -    | -    | -  |
| R4-Difusión | 0.00                     | 0.60 | 1.60 | 2.00 | 2.40 | 2.80 | 3.30 | 4.00 | 4.40 | 5.10 | 5.50 | 6.20 | 7.00 | 7.80 | 8.60 | -  |

Nota:

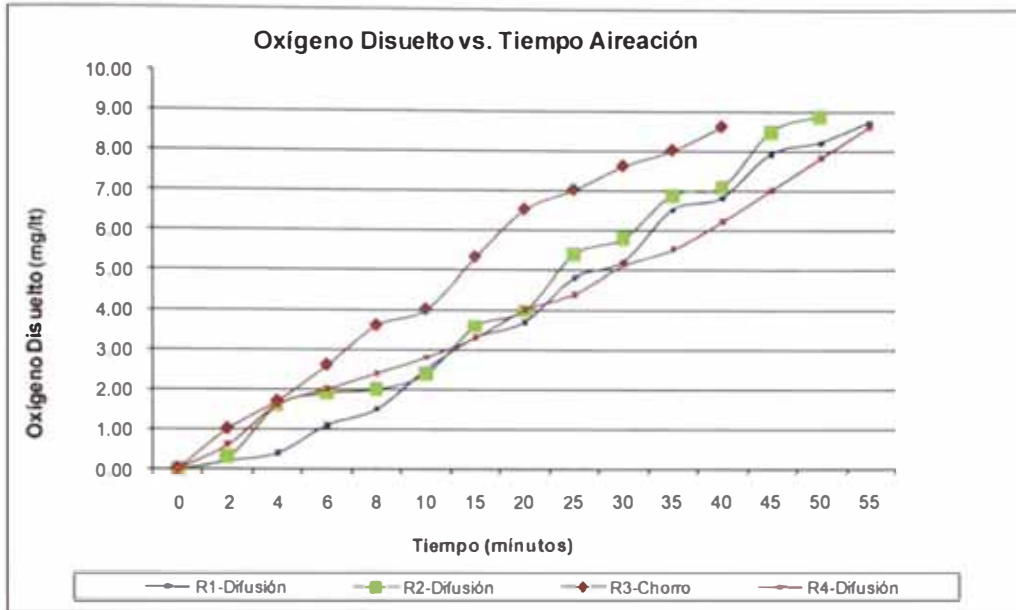
\* Co (mg/lit)= 0.00

\* Cs (mg/lit)= 9.20 (Valor de saturación de oxígeno para agua destilada, en condiciones normales: 12 y a T=20°C según Ramalho, 1996, pág. 200)

\* O.D. inicio= 6.50

\* Las prubeas se realizaron utilizando solo una bomba, la cual se señala para cada recipiente.

**Gráfico 4.3: Oxígeno Disuelto vs. Tiempo Aireación**



De conformidad con la ecuación IV, se elabora los siguientes cuadros de resúmenes:

$$\ln(C_s - C_t) = \text{constante} + -k_L a t$$

...Ecuación IV

**Cuadro Nº 4.6: Resultados de Déficit (Cs-Ct) en el Tiempo**

| Recipiente | Tiempo (minutos) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
|------------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
|            | 0                | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60 |
|            | ( Cs - Ct )      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |
| R1         | 9.20             | 9.00 | 8.80 | 8.10 | 7.70 | 6.70 | 5.90 | 5.50 | 4.40 | 4.00 | 2.70 | 2.40 | 1.30 | 1.00 | 0.50 | -  |
| R2         | 9.20             | 8.90 | 7.60 | 7.30 | 7.20 | 6.80 | 5.60 | 5.20 | 3.80 | 3.40 | 2.30 | 2.10 | 0.70 | 0.30 | -    | -  |
| R3         | 9.20             | 8.20 | 7.50 | 6.60 | 5.60 | 5.20 | 3.90 | 2.70 | 2.20 | 1.60 | 1.20 | 0.60 | -    | -    | -    | -  |
| R4         | 9.20             | 8.60 | 7.60 | 7.20 | 6.80 | 6.40 | 5.90 | 5.20 | 4.80 | 4.10 | 3.70 | 3.00 | 2.20 | 1.40 | 0.60 | -  |

**Cuadro Nº 4.7: Resultados de (Cs-Ct) / (Cs - Co) vs. Tiempo**

| Recipiente | Tiempo (minutos)          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
|------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|----|
|            | 0                         | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45    | 50    | 55    | 60 |
|            | ( Cs - Co ) / ( Cs - Ct ) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |    |
| R1         | 1.00                      | 1.02 | 1.05 | 1.14 | 1.19 | 1.37 | 1.56 | 1.67 | 2.09 | 2.30 | 3.41 | 3.83 | 7.08  | 9.20  | 18.40 | -  |
| R2         | 1.00                      | 1.03 | 1.21 | 1.26 | 1.28 | 1.35 | 1.64 | 1.77 | 2.42 | 2.71 | 4.00 | 4.38 | 13.14 | 30.67 | -     | -  |
| R3         | 1.00                      | 1.23 | 1.64 | 1.77 | 2.36 | 3.41 | 4.18 | 5.75 | 7.67 | -    | -    | -    | -     | -     | -     | -  |
| R4         | 1.00                      | 1.07 | 1.21 | 1.28 | 1.35 | 1.44 | 1.56 | 1.77 | 1.92 | 2.24 | 2.49 | 3.07 | 4.18  | 6.57  | 15.33 | -  |

Con estos cuadros se elabora el Gráfico N° 4.4 de Tiempo contra  $C_s - C_t$  para cada uno de los recipientes.

Gráfico N° 4.4:  $C_s - C_t$  vs. Tiempo- Aireación por Difusión R1

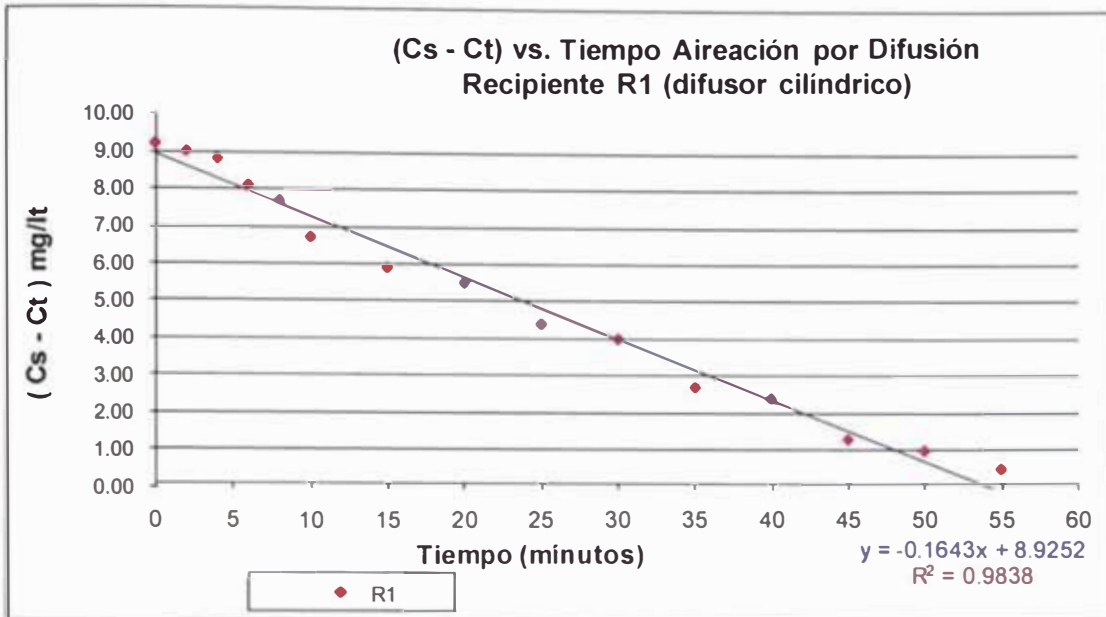


Gráfico N° 4.5:  $C_s - C_t$  vs. Tiempo- Aireación por Difusión R2

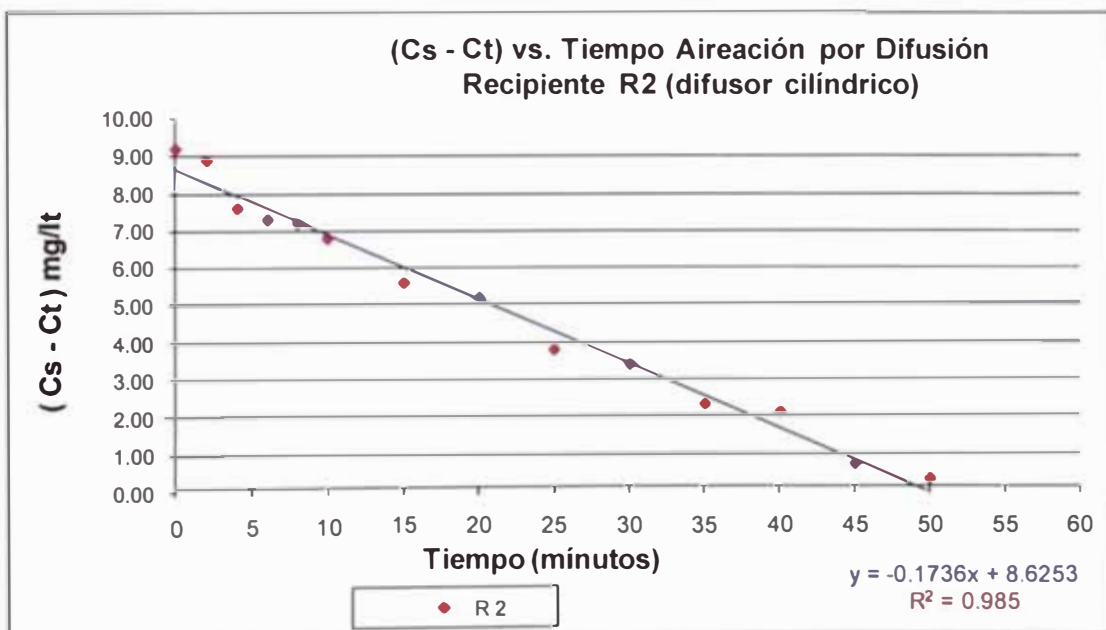


Gráfico N° 4.6: Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión R3

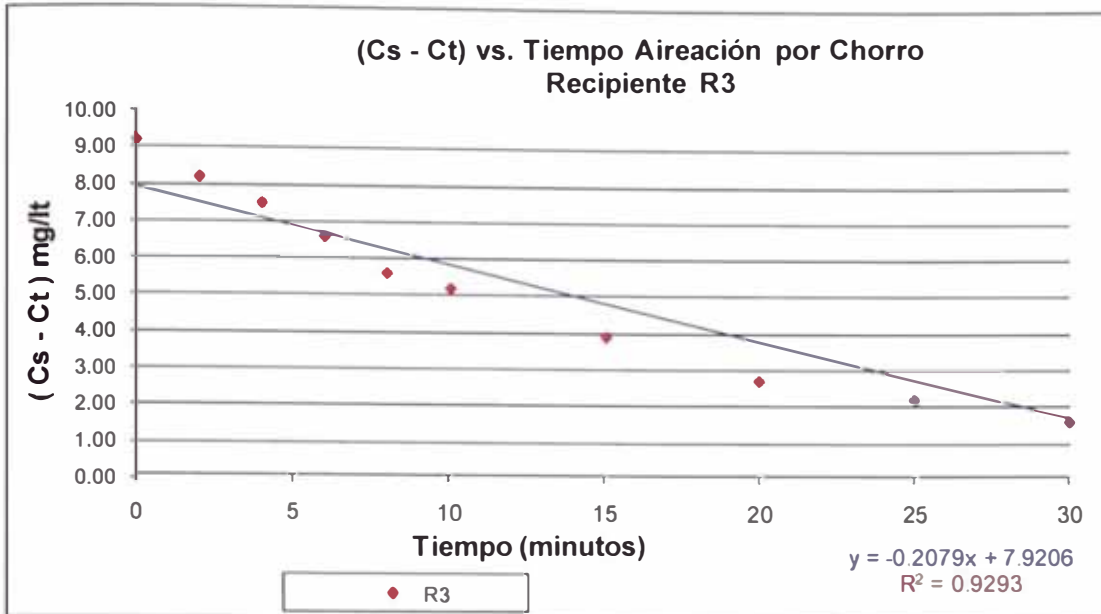
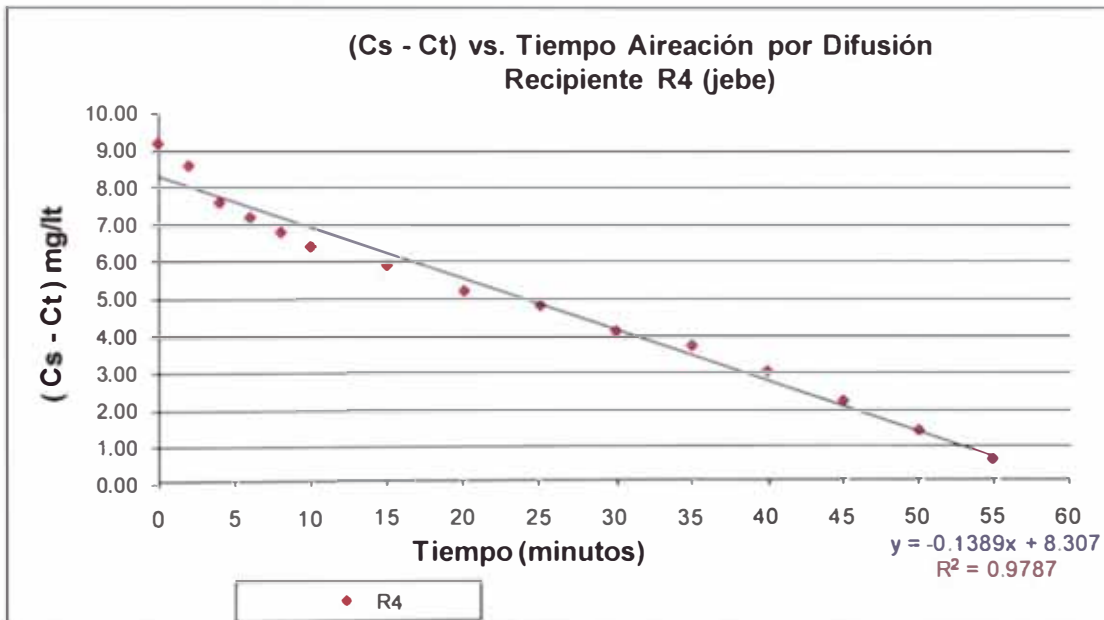


Gráfico N° 4.7: Cs-Ct vs. Tiempo- Aireación por Difusión R4



Como se aprecia en los gráficos se obtiene una serie de puntos que mediante el método de mínimos cuadrados se forma una recta para cada uno de los recipientes, siendo

estas las que se aprecian a continuación y sus valores interpretados mediante la ecuación IV.

$$y = -0.1643 X + 8.9252 \text{ para el R1}$$

$$y = -0.1736 X + 8.6253 \text{ para el R2}$$

$$y = -0.2079 X + 7.9206 \text{ para el R3}$$

$$y = -0.1389 X + 8.3071 \text{ para el R3}$$

A través de las rectas halladas, se determina los puntos sobre la recta en la variación del tiempo de 0' a 60' para observar la variación de déficit de oxígeno. Estos resultados se muestran en el Cuadro N° 4.11.

**Cuadro N° 4.8: Resultados de Déficit (Cs-Ct) en el Tiempo con las rectas halladas**

| Recipiente | ECUACIÓN               | R <sup>2</sup> | Tiempo (minutos), X |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |    |
|------------|------------------------|----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
|            |                        |                | 0                   | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 15    | 20    | 25    | 30    | 35    | 40    | 45    | 50    | 55    | 60 |
|            |                        |                | ( Cs - Ct ), Y      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |    |
| R1         | y = -0.1643 X + 8.9252 | 0.984          | 8.925               | 8.597 | 8.268 | 7.939 | 7.611 | 7.282 | 6.461 | 5.639 | 4.818 | 3.996 | 3.175 | 2.353 | 1.532 | 0.710 | -     | -  |
| R2         | y = -0.1736 X + 8.6253 | 0.985          | 8.625               | 8.278 | 7.931 | 7.584 | 7.237 | 6.889 | 6.021 | 5.153 | 4.285 | 3.417 | 2.549 | 1.681 | 0.813 | -     | -     | -  |
| R3         | y = -0.2079 X + 7.9206 | 0.929          | 7.921               | 7.505 | 7.089 | 6.673 | 6.257 | 5.842 | 4.802 | 3.763 | 2.723 | 1.684 | 0.644 | -     | -     | -     | -     | -  |
| R4         | y = -0.1389 X + 8.3070 | 0.979          | 8.307               | 8.029 | 7.751 | 7.474 | 7.196 | 6.918 | 6.224 | 5.529 | 4.835 | 4.140 | 3.446 | 2.751 | 2.057 | 1.362 | 0.668 | -  |

A partir de los resultados obtenidos en el cuadro N° 4.11 se determina mediante la ecuación V, el coeficiente de transferencia  $k_{La}$ , tal como se muestra en el Cuadro N° 4.12 siguiente:

$$k_{La} = 2.3/t * \log((C_s - C_o)/(C_s - C_i)) \dots \text{ecuación V.}$$

**Cuadro N° 4.9: Determinación del Coeficiente de Transferencia  $k_{La}$**

| Recipiente | $K_{La} = 2.303 \log [(C_s - C_1) / (C_s - C_2)] / (t_2 - t_1) *$ |                                |   | $K_{La} 20^\circ C = K_{La} 10^\circ C \times \theta^{20-T} **$ |                              | $dC/dt = C.O. = dC/dt = (K_{La})_x (C_s - C) ***$ |                               |
|------------|---|--------------------------------|---|---|------------------------------|---|-------------------------------|
|            | ( Cs - Co ) mg/lit  | ( Cs - C <sub>2</sub> ) mg/lit | ( t <sub>2</sub> - t <sub>1</sub> ) min | $K_{La} 10^\circ C (h^{-1})$                                    | $K_{La} 20^\circ C (h^{-1})$ | C.O. 10°C   | C.O. 20°C gr/h.m <sup>3</sup> |
| R1         | 9.20  | 3.996                          | 30.00                                   | 1.67  | 1.77                         | 15.35   | 16.24                         |
| R2         | 9.20  | 3.417                          | 30.00                                   | 1.98  | 2.11                         | 18.23   | 19.43                         |
| R3         | 9.20  | 1.684                          | 30.00                                   | 3.40  | 3.64                         | 31.25   | 33.48                         |
| R4         | 9.20  | 4.140                          | 30.00                                   | 1.60  | 1.70                         | 14.70   | 15.63                         |

| Recipiente | N= dC/dt x V           | Total O <sub>2</sub> / h **** |                        | Potencia     |               |
|------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|--------------|---------------|
|            | gr. O <sub>2</sub> / h | Nº Bombas                     | gr. O <sub>2</sub> / h | Watts)x bomb | Total (watts) |
| R1         | 0.325                  | 4.00                          | 1.2996                 | 2.00         | 8.00          |
| R2         | 0.389                  | 2.00                          | 0.7772                 | 3.00         | 6.00          |
| R3         | 0.670                  | 2.00                          | 1.3392                 | 9.00         | 18.00         |
| R4         | 0.313                  | 3.00                          | 0.9378                 | 2.00         | -             |

La determinación en laboratorio del equipo de bombeo para la inyección de aire mediante el análisis "Aireación por Difusión" arrojó un valor de 3.41 de gr O<sub>2</sub> / h.

La determinación teórica de la cantidad de oxígeno que se deberá suministrar a la Planta de Lodos Activados a escala laboratorio, es de 8.03 de gr O<sub>2</sub> / h.; por lo que se debió haber aumentado al doble el número de bombas, en el proceso de aireación.<sup>2</sup>

#### **4.4.2. Criterios Técnicos en la Construcción de la Planta de Lodos Activados a escala de Laboratorio**

Con este análisis previo, se diseñó la planta de Lodos Activados, a continuación se mencionara algunos criterios técnicos de cada unidad que conforma la planta:

##### **4.4.2.1 Tanque de Homogenización:**

Con la finalidad de garantizar la uniformidad del agua residual cruda al ingreso de las unidades de tratamiento se optó por usar un tanque plástico de 50 lts de capacidad. Asimismo este tanque va cumplir la función de almacenar el agua residual cruda y además por tener un nivel superior al de las otras unidades asegurará una distribución adecuada por gravedad del agua residual cruda al sedimentador primario. Ver Foto N° 4.4.

<sup>2</sup> Ver calculo adjuntos en el ítem 5.4.1.V.1



Tanque de Homogenización

Foto N° 4.4: Tanque de Homogenización

#### 4.4.2.2 Sedimentador Primario:

Para garantizar una mejor visualización del ingreso del agua residual cruda proveniente del tanque de homogenización se optó por construir el sedimentador primario de vidrio de 6 mm de espesor, el volumen del sedimentador es de 46 litros, además por ser una estructura de vidrio se podrá observar la forma en que sedimentan las partículas.

Asimismo se ha considerado que el ingreso del agua residual será por medio de una tubería de PVC perforada para una mejor distribución, la tubería se ubica a lo ancho del sedimentador; a su vez se consideró colocar una pantalla para ayudar a la sedimentación y finalmente el fondo del sedimentador está conformada por dos zonas: una zona de recolección de sedimentos y la otra que tiene una contra pendiente de 5.0% cuya finalidad es la de ayudar a la sedimentación de las diversas partículas presentes en el agua cruda residual en un área que no obstruyera la salida del agua residual hacia el Reactor Biológico. Ver Foto N° 4.5.



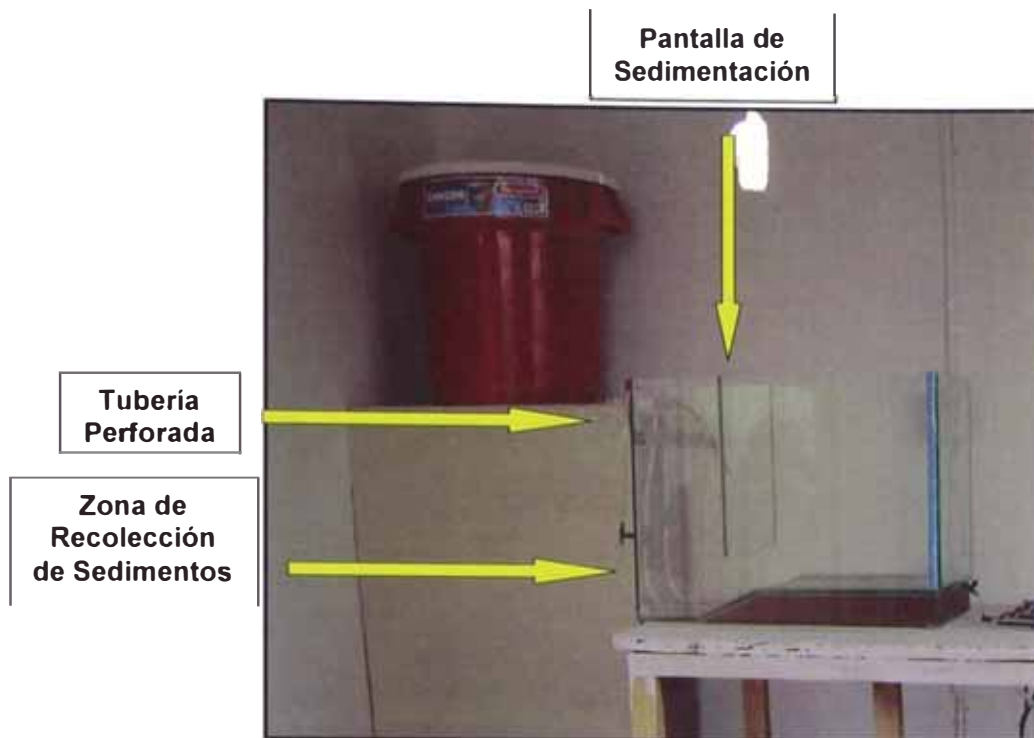


Foto N° 4.5: Sedimentador Primario

#### 4.4.2.3 Reactor Biológico, Sedimentador Secundario y Canal de Recolección

El Reactor Biológico, Sedimentador Secundario y Canal de Recolección fueron construidos de vidrio de 6 mm. Se realizó de vidrio por ser un material de bajo costo y una facilidad de poder visualizar el lodo activado presente en el Reactor, el ingreso al Reactor es a través de una tubería perforada de PVC que se ubica a lo ancho del reactor. El Sedimentador es un tronco de pirámide invertida. La conexión entre el Reactor Biológico y Sedimentador es una abertura de 1 cm. dejado en el fondo, asimismo éste permite una recirculación del lodo sedimentado por gravedad. Se colocó una pantalla entre el reactor y el sedimentador secundario de gran altura para evitar el paso de espumas evitando la mezcla con el agua residual tratada. El Sedimentador Secundario se separa del Canal de Recolección a través de una pantalla, el agua residual tratada ingresa al canal por rebose.

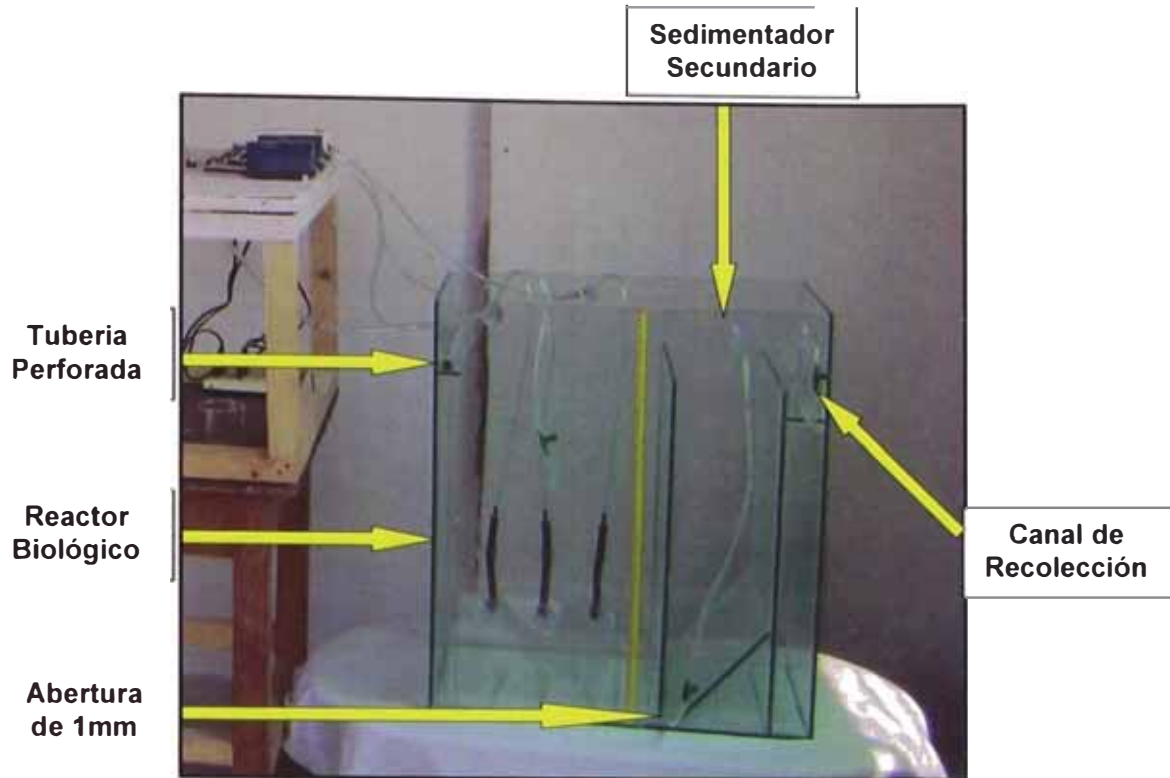


Foto N° 4.6: Reactor Biológico, Sedimentador Secundario y Canal de Recolección

#### 4.5 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE LAS UNIDADES DE LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS

Cada una de las unidades en forma distinta consta de los siguientes componentes, cuyas características de forma, dimensionamiento y funcionamiento se mencionan a continuación:

##### 4.5.1 TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN

Como se había mencionado en el ítem anterior, el tanque de homogenización es un tanque de plástico de 50 lts de capacidad, de un radio 0.25m y una altura de 1.20m aprox. La toma de muestra del agua residual se hacía en una caja de registro de 0.60x0.60m (ver Foto N° 4.8), para ello se utilizó una jarra de plástico de 1.50 lts, luego se vertía el agua residual a través de una malla de diámetro de 10" y una abertura de 2mm (ver Foto N° 4.9) para finalmente transportar el agua residual hacia el tanque

de homogenización por medio de baldes plásticos de diferentes capacidades, ver Fotos N° 4.7, 4.8 y 4.9.



Foto N° 4.7: Ubicación y Materiales para Captación del Agua Residual

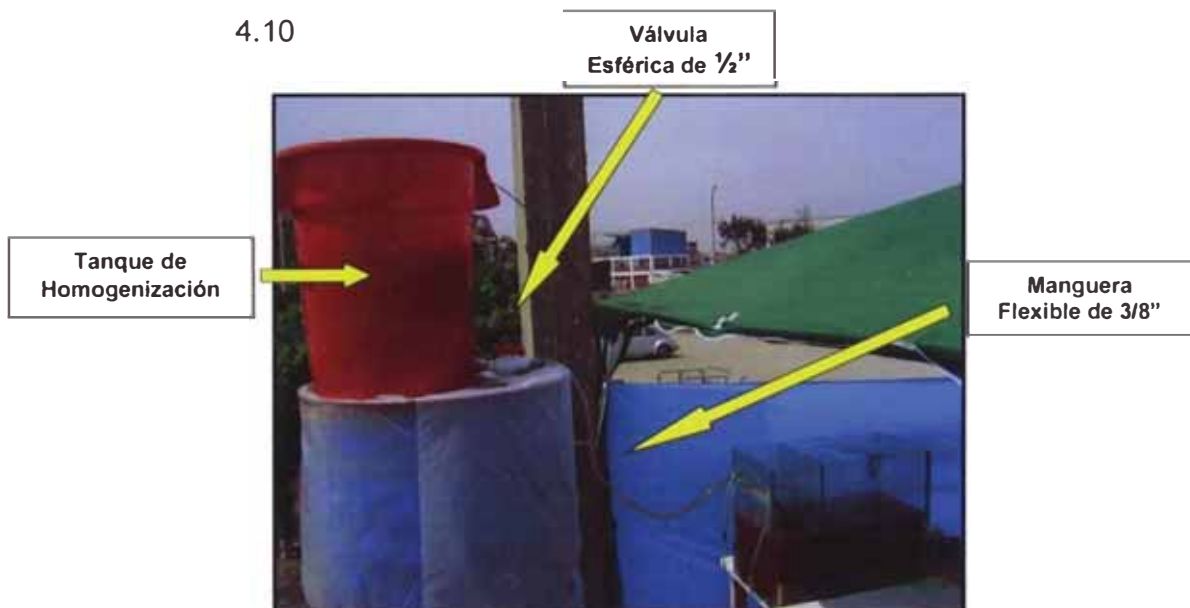


Foto N° 4.8: Toma de Muestra del Agua Residual



**Foto N° 4.9: Vertido del Agua Residual a través de la Malla Metálica**

Para la salida del agua residual del tanque de homogenización hacia el sedimentador primario, se colocó una válvula esférica de  $\frac{1}{2}$ " adaptando una manguera de plástico flexible de  $\varnothing$  10.08mm, esta válvula está ubicada a una altura de 0.05 cm. del fondo del balde y va a cumplir la función de controlar el caudal. Ver Foto N° 4.10



**Foto N° 4.10: Tanque de Homogenización**

#### 4.5.2 SEDIMENTADOR PRIMARIO

El sedimentador primario es una estructura de vidrio de 6mm de espesor, cuya capacidad es de 46 lts y tiene las siguientes dimensiones: un ancho de 0.25m, una longitud de 0.50m y una altura de 0.39m aprox. Como se había mencionado el ingreso del agua es por medio de un tubería 0.26m de longitud con un  $\varnothing$  1/2" de PVC y perforada con 9 orificios de  $\varnothing$  3mm, además para ayudar a la sedimentación existe una pantalla de 0.25m de ancho y una altura de 0.29m de tal forma que cuando el agua ingresa, ésta choca con la pantalla y así los sedimentos caen en la zona de recolección. Con la finalidad de poder medir el volumen de agua residual que ingresa se ha colocado a un extremo una cinta métrica. Ver Foto N° 4.11.



Foto N° 4.11: Sedimentador Primario

El tiempo de retención hidráulica en el sedimentador fue de 18 horas, después de ello se abría la válvula para la salida del agua sedimentada hacia el reactor biológico, la válvula de  $\varnothing$  5.78 mm con una manguera flexible de plástico de  $\varnothing$  5.78 mm la cual se había colocado una altura de 0.05 cm. del fondo del balde. Para el control del caudal constante se utilizó la llave reguladora que con un cierre

manual se fue graduando y controlando el ingreso del caudal constante hacia el reactor biológico.

Para la eliminación de los sedimentos se dispuso de tres llaves reguladoras de  $\varnothing$  5.78 mm con sus respectivas mangueras del mismo diámetro, las cuales se ubicaron a 0.05m del fondo de la base de la zona de sedimentación.

Para la toma de muestra del sedimentador se realizo por medio de la llave que alimenta al reactor y las mediciones de Ph se hicieron todos los días antes de abrir la llave reguladora. Ver Fotos N° 4.12 y 4.13.

Llaves reguladoras para salida de sedimentos

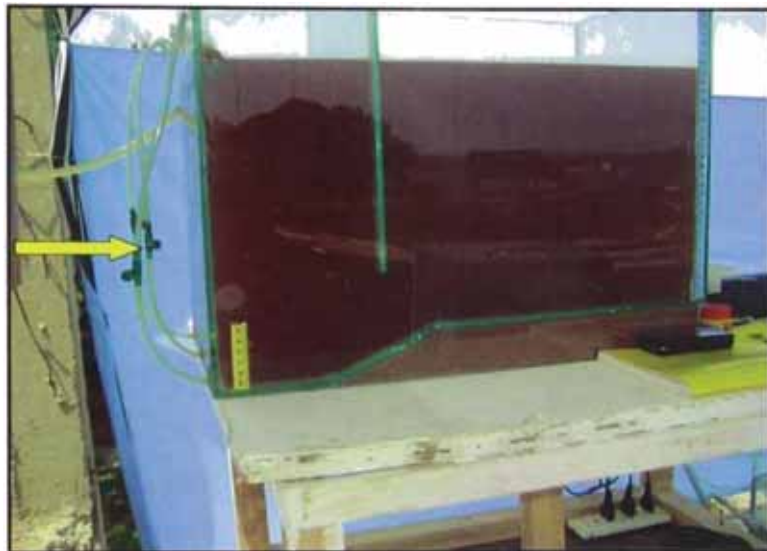


Foto N° 4.12: Detalle de Salida de Sedimentos

Medición de Ph



Llave reguladora alimenta al reactor

Foto N° 4.13: Medición de pH

### 4.5.3 REACTOR BIOLÓGICO

El reactor biológico tiene las siguientes dimensiones, 0.32 m de largo por 0.25 m de ancho (área 0.08 m<sup>2</sup>) con una altura de 0.60 m. El ingreso del agua sedimentada era a través de una tubería de  $\varnothing$  ½" de PVC de 0.26m de largo y con 9 orificios para una mejor distribución del agua residual, esta tubería estaba colocada a lo ancho del reactor y a 0.50m del fondo; además se ha colocado una cinta métrica que cumple la finalidad de indicar el volumen de agua residual y de lodo que existe en el reactor.

Para el funcionamiento del reactor se tuvo cuatro etapas, cada uno de ellas se diferencia por el tipo de difusor y el número de bombas, ello se planteo en vista que se quiso mejorar las condiciones de oxígeno en el reactor; a continuación se describe cada uno de las etapas:

**Etapas I:** Para esta etapa se utilizaron tres bombas inyectoras de aire de 2.0 watt cada una y además cada bomba alimentaba a un difusor de jebe de 0.30m de largo y los que se colocaron a 0.15m del fondo del reactor separados cada 0.08m, cada difusor contaba con 29 orificios en sus cuatro cuadrantes para obtener una mejor distribución del aire. Ver Fotos N° 4.14 y 4.15.

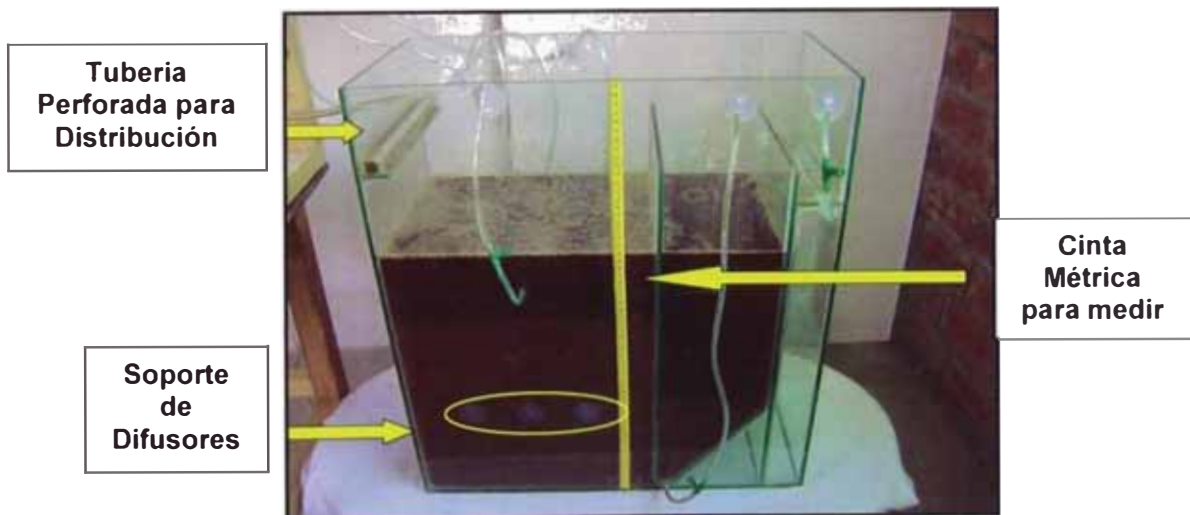


Foto N° 4.14: Partes del Reactor Biológico



**Foto N° 4.15: Difusor de Jebe Agujerado**

**Etapa II:** Se optó por aumentar el número de bombas a cuatro, los cuales tenían una potencia de 2.0 watt, además cada bomba alimentará a tres difusores porosos, los cuales se colocaran al fondo del reactor y se distribuirán de forma que no se cree espacios muertos al momento de la difusión del aire. Ver Fotos N° 4.16 y 4.17.



**Foto N° 4.16: Batería de Bombas con Difusores**





**Foto N° 4.17: Detalle de Mangueras donde Circula el Aire**

**Etapa III:** Se aumento el número de bombas y difusores, ahora se tenía cuatro bombas de 2.0 watt y dos bombas de 3.0 watt, cada bombas alimentaba a tres difusores porosos, para asegurar el mismo caudal de aire se coloco una llave reguladora para cada difusor. Ver Foto N° 4.18.

**02 Bombas  
inyectoras  
de aire de 3  
watt**



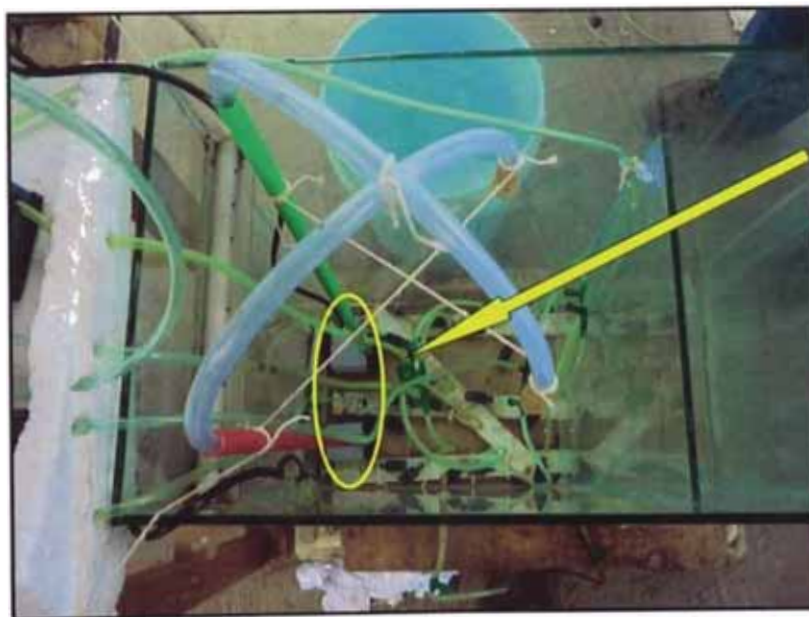
**04 Bombas  
inyectoras  
de aire de 2  
watt**

**Foto N° 4.18: Batería de Bombas**

**Etapa IV:** Para esta última etapa se opto por la adición de dos bombas sumergibles de 9 watt cada uno y además cada bomba tenía un tubo de 3/8" de tal forma que el agua residual se impulsaba y se regresaba al reactor inyectando aire por medio de chorro. Ver Fotos N° 4.19 y 4.20 y 4.21.



Foto N° 4.19: Vista de Bateria de Difusores Porosos, de arriba para abajo



Bombas  
Sumergibles  
de 9 watt

Foto N° 4.20: Vista de arriba hacia debajo de Bombas Sumergibles



**Foto N° 4.21: Inyección de aire por medio de Chorro**

Se sabe que el TRH en el reactor fue de 4 horas y que en el funcionamiento se produjo una gran cantidad de espumas para lo cual se colocó una pantalla de jebe entre el reactor biológico y el sedimentador secundario para evitar que se mezcle con el agua tratada; en caso que la pantalla no fuera suficiente, las espumas eran retiradas de forma manual. Ver Foto N° 4.22.

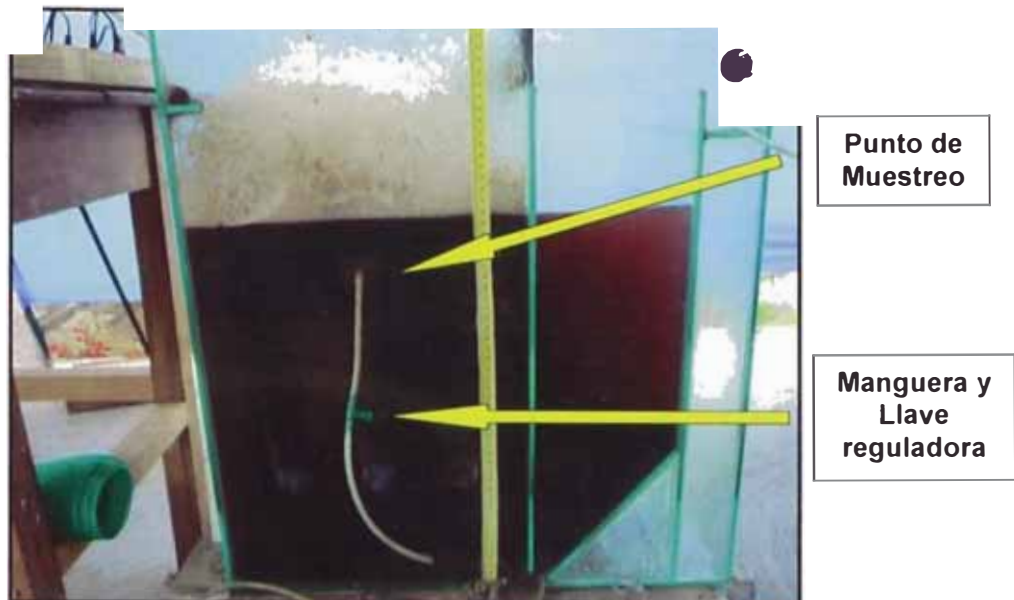


**Espuma  
generada por la  
inyección de aire**

**Jebe de  
protección**

**Foto N° 4.22: Funcionamiento del Reactor**

Para la toma de muestra se perforo un orificio en la parte central del reactor y a 0.34m del fondo, el orificio además contaba de una manguera de plástico de 3/8" con su respectiva llave reguladora, tal como se muestra en la Foto N° 4.23.



**Foto N° 4.23: Punto de Muestreo del Reactor**

#### **4.5.4 SEDIMENTADOR SECUNDARIO**

El sedimentador secundario tiene un forma cónica, de dimensiones: 0.15 m de largo por 0.25 m de ancho con una altura de 0.50 m.

Como se menciona antes, se dejó una abertura de 1.0 cm en el fondo para que se produzca la recirculación del lodo por gravedad, es decir por el propio peso del lodo, éste retorne al reactor biológico evitando el paso de ellos hacia la canaleta de recolección.

Además el período de retención hidráulico en el sedimentador fue de una hora, luego de ésta el agua tratada pasaba al canal de recolección.

En el fondo se perforo un orificio para poder realizar la toma de muestra del lodo recirculado en caso sea necesario, el punto de muestreo contaba con una manguera flexible de plástico y una llave reguladora tal como se aprecia en la Foto N°: 4.24.



Foto N° 4.24: Sedimentador Secundario

#### 4.5.5 CANAL DE RECOLECCIÓN

El canal de recolección también se encuentra adherido y a lo ancho del sedimentador secundario con la finalidad de recolectar el agua residual sedimentada, y mediante una tubería flexible de 1/8" para poder hacer la toma de la muestra.

Las dimensiones del canal de recolección son: 0.05 ml de largo por 0.25ml de ancho (área 0.0125 m<sup>2</sup>) con una altura de 0.05 ml. Ver Foto N 4.25.



Foto N° 4.25: Canal de Recolección

## CAPITULO V



**PUESTA EN MARCHA DE LA  
PLANTA DE LODOS  
ACTIVADOS  
A ESCALA DE  
LABORATORIO**

## **5.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS A ESCALA DE LABORATORIO**

Los trabajos realizados con relación al acondicionamiento de la planta de lodos activados, están referidas a las actividades realizadas para la puesta en marcha, las mismas que son señaladas a continuación:

- 5.1.1 Caracterización del Agua Residual proveniente del área de beneficio del camal.
- 5.1.2. Composición del lodo crudo proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo.
- 5.1.3. Puesta en Marcha de la Planta de Lodos Activados a escala de laboratorio.

Se detallan a continuación las actividades señaladas anteriormente:

### **5.1.1. Caracterización del Agua Residual proveniente del área de beneficio del camal.**

Se realizó la caracterización del agua residual proveniente del área de beneficio. Los resultados de la caracterización del agua residual crudo proveniente del área de beneficio se muestran en la Tabla N° 5.1.



Tabla N° 5.1

## Caracterización del Agua Residual Crudo proveniente del Área de Beneficio

| PARÁMETROS                       | RESULTADOS OBTENIDOS |           |           |           |
|----------------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                  | 04-Feb-09            | 11-Feb-09 | 02-Jun-09 | 03-Jun-09 |
| DBO5* (mg / lt)                  | 3,266.70             | 2,738.0   | 2,725.00  | 2,613.00  |
| DQO* (mg / lt)                   | 8,810.00             | 4,890.0   | 3,916.00  | 5,700.00  |
| pH*                              | 7.20                 | 6.8       | 7.9       | 7.63      |
| SST* (mg / lt)                   | 2,795.00             | 1,050.0   | -         | -         |
| SDT* (mg / lt)                   | 4,795.00             | -         | -         | -         |
| ST (mg / lt), ST = SDT - SST     | 2,000.00             | -         | -         | -         |
| SSV* (mg / lt)                   | 145.00               | -         | -         | -         |
| OD** (mg / lt)                   | 0.00                 | 0.00      | 0.00      | 0.00      |
| TEMPERATURA** (°C)               | 25.60                | 24.30     | 21.90     | 19.60     |
| ACEITES GRASAS* (mg / lt)        | 0.40                 | -         | -         | -         |
| NITROGENO AMONIACAL*** (mg / lt) | 24.88                | -         | -         | -         |
| NITROGENO ORGÁNICO*** (mg / lt)  | 2.4177               | -         | -         | -         |
| FOSFORO TOTAL*** (mg / lt)       | 51.25                | 37.40     | -         | -         |
| NITROGENO TOTAL*** (mg / lt)     | 2.5966               | 165.10    | -         | -         |
| COLIFORMES FECALES* (NMP/100ml)  | 70 x 10 <sup>8</sup> | -         | -         | -         |
| COLIFORMES TOTALES* (NMP/100ml)  | 90 x 10 <sup>8</sup> | -         | -         | -         |
| ACIDEZ TOTAL (mg/lt)             | -                    | -         | -         | -         |
| ALCALINIDAD TOTAL*** (mg / lt)   | 640.80               | -         | -         | -         |

(\*): Los análisis se realizaron en el laboratorio N°20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería.

(\*\*): Las mediciones se realizaron in situ.

(\*\*\*): Los análisis se realizaron en Environmental Laboratories Perú S.A.C.

### 5.1.2. Composición del lodo crudo proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo.

El lodo crudo inoculado en el reactor biológico, se extrajo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo, ubicado en la Urb. San Antonio de Carapongo en el distrito de San Juan de Lurigancho y administrado por el SEDAPAL.

Se caracterizo el lodo crudo, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente Tabla N° 5.2

TABLA N° 5.2

**Composición del Lodo Crudo proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Antonio de Carapongo**

| Ítem | Parámetros  | Unidad  | Resultados         |
|------|---|---------|--------------------|
| 1    | pH  | -       | 6.3                |
| 2    | Sólidos Totales   | mg/Kg   | 57,237             |
| 3    | Sólidos Volátiles   | mg/Kg   | 33,753             |
| 4    | Nitrógeno Amoniacal   | mg/Kg   | 272.5              |
| 5    | Fósforo Total   | mg/Kg   | 147.28             |
| 6    | D.B.O.  | mg/Kg   | 35,000             |
| 7    | D.Q.O.  | mg/Kg   | 46,598             |
| 8    | Humedad   | %       | 94.9               |
| 9    | Nitrógeno Total   | g/100g  | 1.81               |
| 10   | Nitrógeno Orgánico  | g/100g  | 0.38               |
| 11   | Coliformes Fecales  | NMP/10g | 79x10 <sup>4</sup> |
| 12   | Coliformes Totales  | NMP/10g | 16x10 <sup>6</sup> |
| 13   | Coloración de Ziehl Neelsen<br>Cryptosporidium sp (Recuento)                                    | 25g     | <1                 |
| 14   | Observación de Enteroparásitos<br>y quistes de Protozoarios<br>(Recuento)<br>Helmintos (huevos) | 25g     | <1                 |
| 15   | Observación de Enteroparásitos<br>y quistes de Protozoarios<br>(Recuento)<br>Quistes/Ooquistes  | 25g     | <1                 |
| 16   | Salmonella (Detección)  | 25g     | Ausencia           |

Nota: Los análisis se realizaron en Environmental Laboratories Perú S.A.C.

### 5.1.3. Puesta en Marcha de la Planta de Lodos Activados a escala de laboratorio

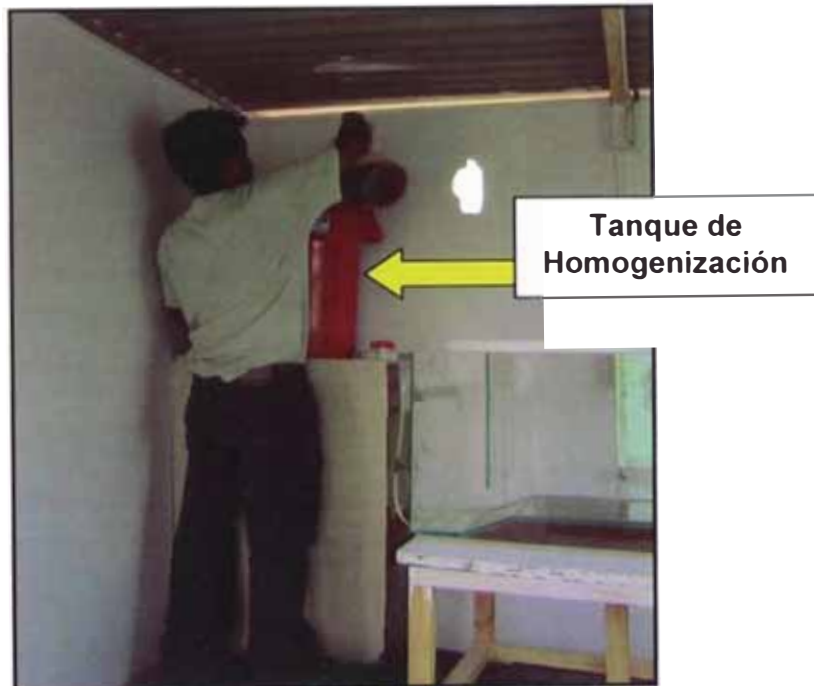
Para la puesta en marcha de la planta de lodos activados se siguieron una serie de pasos, los cuales se detallan a continuación:

1. Se extrajo el agua residual crudo desde una caja de registro (ver Foto N° 5.1), para ser llevados a un tanque de homogenización de plástico y 50lt de volumen en donde se se agitaban los desagües con una paleta (ver Foto N° 5.2);

para luego verterlo en un sedimentador primario de vidrio y 40lt de volumen (ver Foto N° 5.3). Esta agua residual tuvo un tiempo de retención promedio de 18horas. Los muestreos se realizaron a la salida del sedimentador (ver Foto N° 5.4).



**Foto N° 5.1: Recolección de Agua Residual**



**Foto N° 5.2: Tanque de Homogenización**

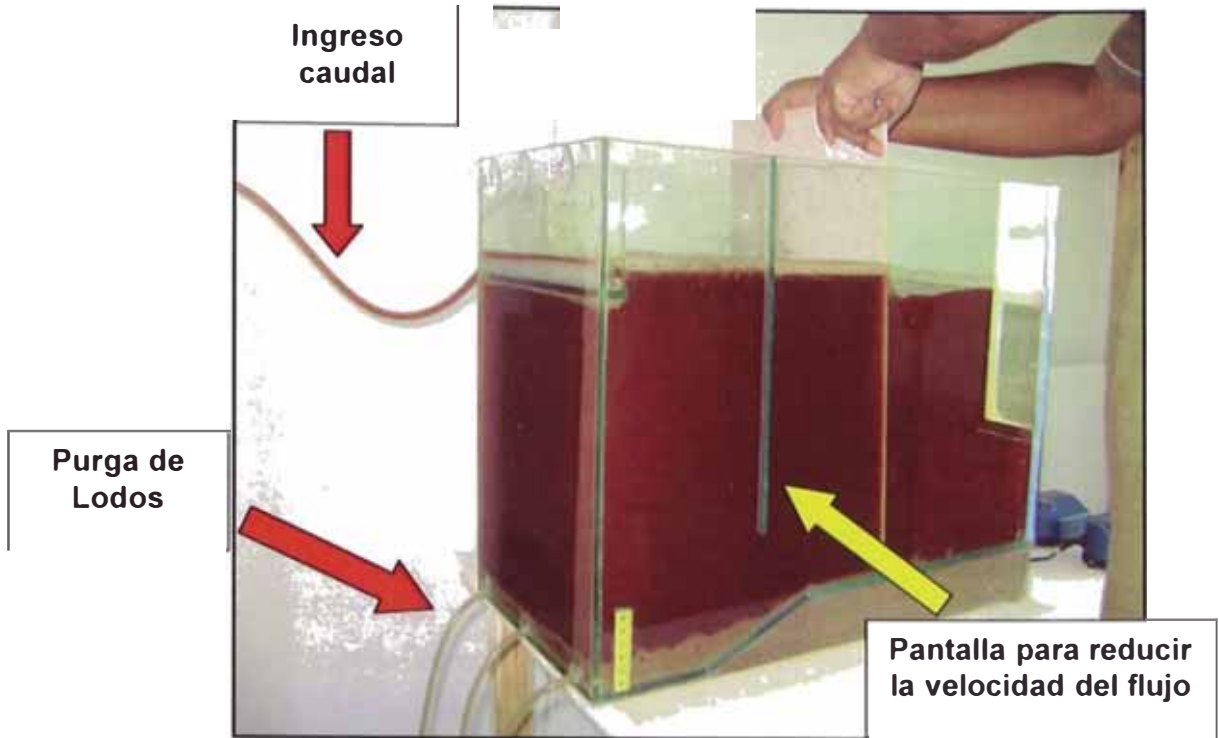


Foto N° 5.3: Sedimentador Primario

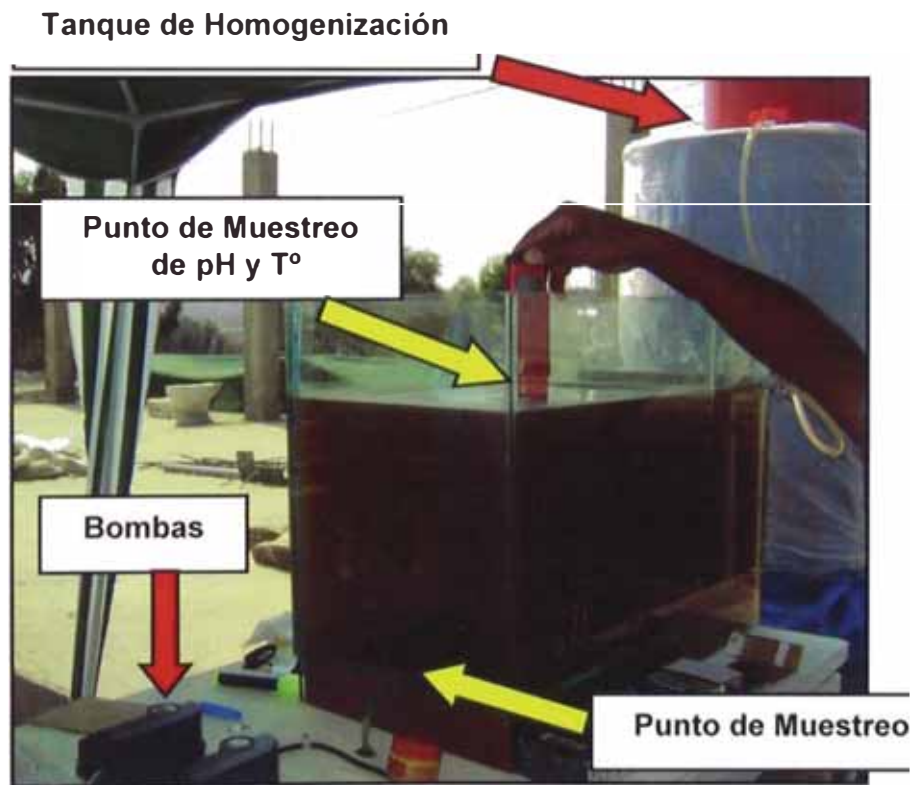


Foto N° 5.4: Puntos de Muestreo en el Sedimentador

2. Se abrió la válvula del sedimentador para dejar pasar el agua residual sedimentada hacia el reactor biológico, el cual se encontraba con lodo crudo proveniente de la PTAR San Antonio de Carapongo. Esto se realizó con la finalidad de diluir el agua residual con el lodo en una proporción de 1 a 3, es decir, 1lt de lodo crudo por 3lt de agua residual crudo. Pues el caudal de agua residual a tratar por la planta de lodos activados a escala de laboratorio fue de 30lt/día.

Agua residual: 30 lt.

Lodo crudo : 10 lt.

Mientras se mezclaban el agua residual con el lodo, se inyectaba aire mediante aireadores dispuestos de tal forma (a 15cm de la base y 8cm de separación entre ellos), para distribuir las burbujas de aire en todo el volumen del reactor. Lo señalado anteriormente se muestra en las Fotos N° 5.5 y Foto N° 5.6.

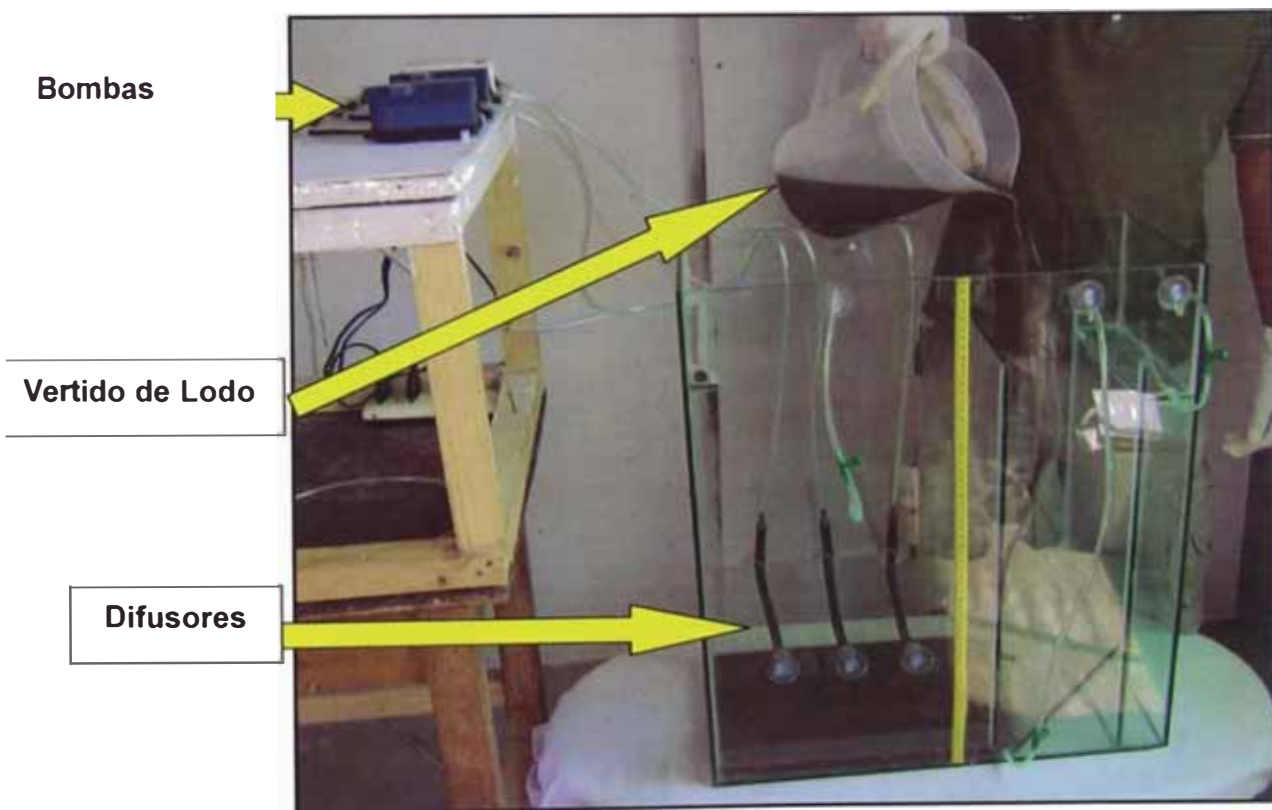
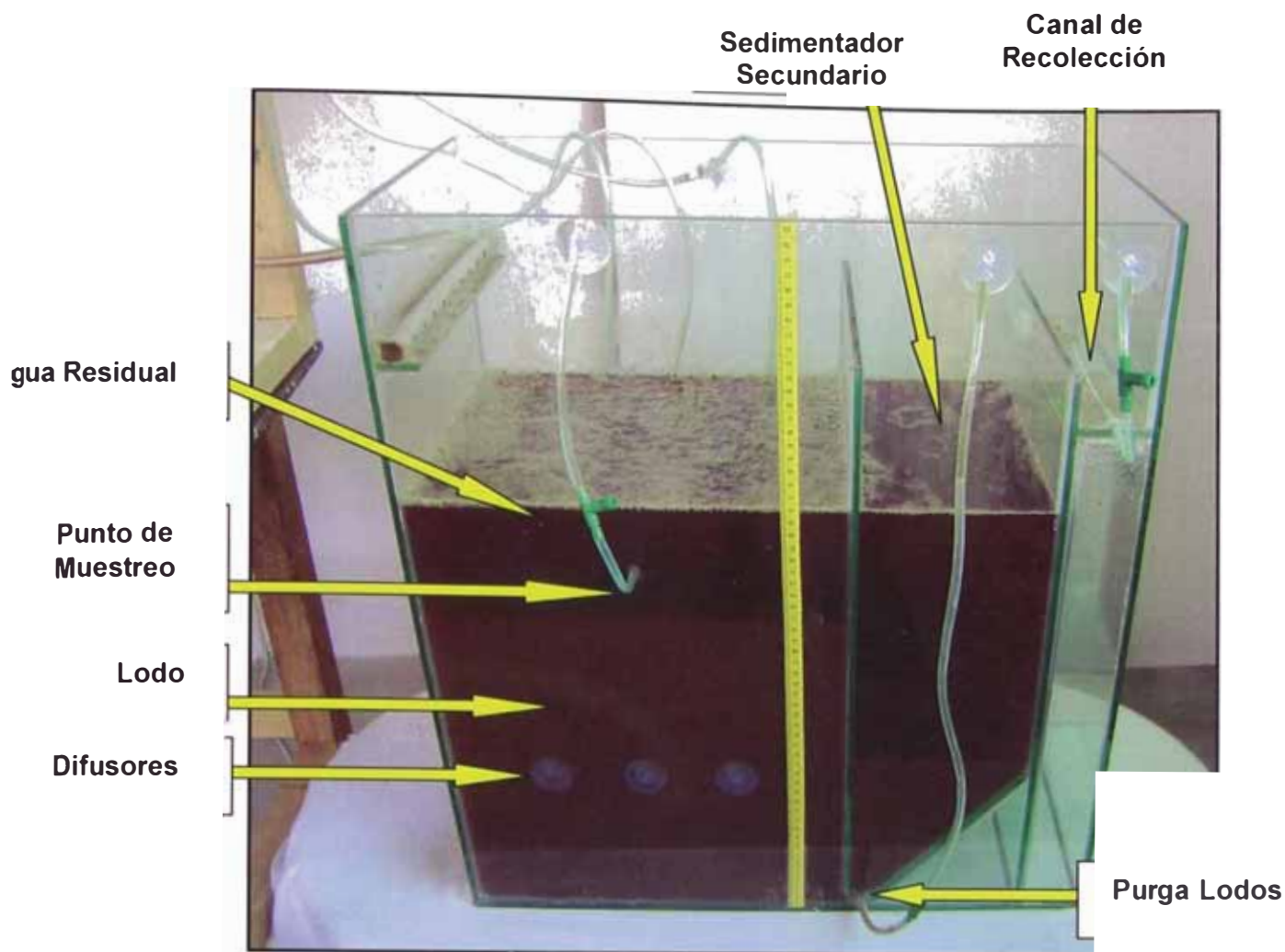


Foto N° 5.5: Vertido de Lodo Crudo al Reactor Biológico



**Foto N° 5.6: Aireación del Lodo con el Agua Residual**

3. Una vez que se puso en funcionamiento el reactor biológico, se controlaba entre otros parámetros, los SSV (sólidos volátiles en suspensión) en el reactor, buscando que trabaje en el rango recomendado de 2000 – 3000 mg/lit.<sup>1</sup>, así como el IVL (índice volumétrico de lodos) tal como se muestra en la Foto N° 5.7.
4. Luego de que el agua residual era aireado en el reactor, este pasaba al sedimentador secundario, cuyo tiempo de retención fue de 1 hora. Los muestreos se realizaron en el canal de recolección, tal como se muestra en la Foto N° 5.8.

<sup>1</sup> Rango recomendado por Ramalho, R. S. (1996), "Tratamiento de Aguas Residuales", pág.257, 2a Ed., Editorial. Reverté, Barcelona.

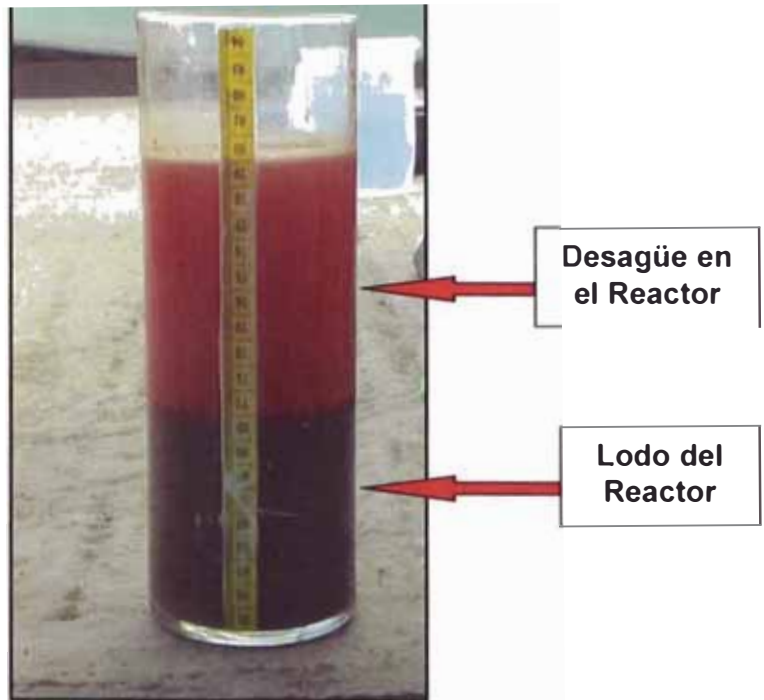


Foto N° 5.7: Medición del Índice Volumétrico de Lodos (IVL)

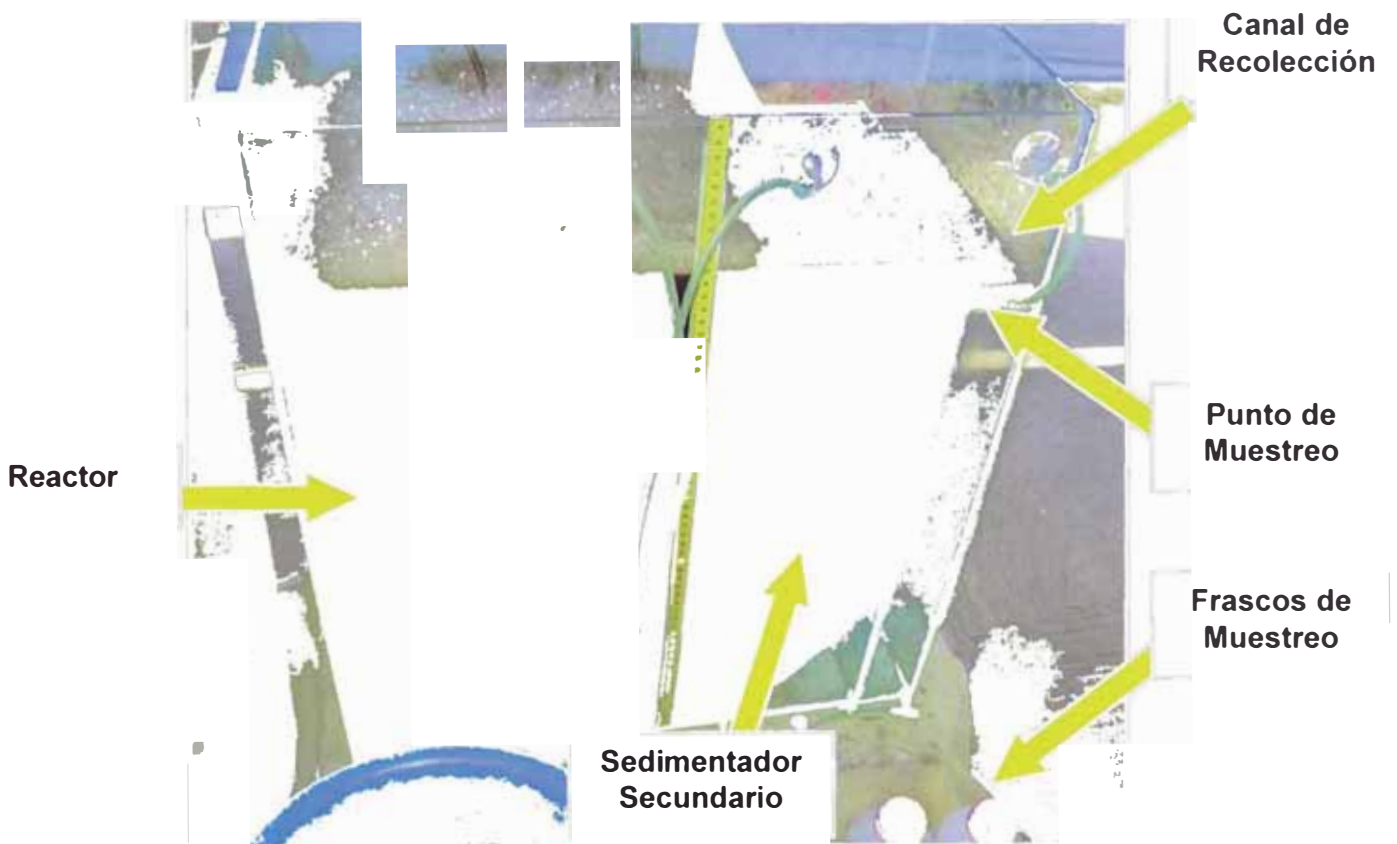


Foto N° 5.8: Muestreo en el Canal de Recolección

5. Luego de haber terminado el proceso de tratamiento, se puede apreciar claramente el cambio de color que sufre el desagüe, desde el crudo hasta el que sale del sedimentador secundario, tal como se muestra en la Foto N° 5.9.



**01: Tanque de Homogenización; 02: Sedimentador Primario; 03: Reactor Biológico; 04: Sedimentador Secundario**

**Foto N° 5.9:**

**Muestra de Desagüe en Cada Unidad de La Planta de Lodos Activados a Escala de Laboratorio**

El monitoreo de los parámetros se llevo acabo durante un periodo de dos meses, y teniendo en cuenta que el agua residual proveniente del área de beneficio del camal viene cargado con alto contenido orgánico (según resultados de la caracterización), además, por el alto número de animales beneficiados diariamente se generan aguas residuales, cuyo volumen varia según la hora y día de beneficio.

La planta de lodos activados a escala de laboratorio se ha desarrollado en base al tratamiento de las aguas residuales



descargadas en una cierta hora y día de producción, es decir se captó de forma puntual, y con alimentación (al reactor biológico) discontinua de agua residual. El volumen del reactor biológico aireado es de 40 lts y el sedimentador secundario de 16 lts.

Durante la operación de la planta de lodos activados a escala de laboratorio, la velocidad de carga orgánica del crudo varió desde 1.69 y 4.57 kg DQO /m<sup>3</sup>.día, y en el Sedimentador, después del tiempo de retención (18 horas) varió desde 1.686 a 4.568 Kg DQO /m<sup>3</sup> día.

## 5.2. PROGRAMA DE MONITOREO DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

Los análisis realizados en la planta de tratamiento de lodos activados a escala de laboratorio, se denotaron como Día 1, Día 2 y Día 3 a los días de monitoreo que se llevaron acabo semanalmente de forma repetitiva durante 8 semanas. Los parámetros analizados y sus respectivas frecuencias de monitoreo se muestran en la Tabla N° 5.3.

**Tabla N° 5.3: Parámetros y Frecuencia de Monitoreo**

| PARÁMETROS              | Si    |      |      |       |      |      |       |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|
|                         | Día 1 |      |      | Día 2 |      |      | Día 3 |      |      |
|                         | S.P.  | R.B. | S.S. | S.P.  | R.B. | S.S. | S.P.  | R.B. | S.S. |
| DBO5                    | X     |      | X    |       |      |      | X     |      | X    |
| DQO                     | X     |      | X    | X     |      |      | X     |      | X    |
| PH                      | X     | X    | X    | X     | X    | X    | X     | X    | X    |
| SST                     | X     | X    | X    | X     | X    | X    | X     | X    | X    |
| SSV                     | X     | X    | X    | X     | X    | X    | X     | X    | X    |
| SDT                     | X     |      |      |       |      |      |       |      |      |
| OD                      |       | X    |      |       |      |      |       | X    |      |
| IVL                     |       | X    |      |       | X    |      |       | X    |      |
| TEMPERATURA             | X     | X    | X    | X     | X    | X    | X     | X    | X    |
| ACEITES GRASAS          |       |      |      |       |      |      | X     |      | X    |
| NITROGENO AMONIACAL NTK |       |      |      |       |      |      |       |      | X    |
| NITROGENO ORGÁNICO NTK  |       |      |      |       |      |      |       |      | X    |
| FOSFORO TOTAL           |       |      |      |       |      |      |       | X    | X    |
| NITROGENO TOTAL         |       |      |      |       |      |      |       | X    | X    |
| COLIFORMES TOTALES      |       |      |      |       |      |      |       | X    | X    |
| COLIFORMES FECALES      |       |      |      |       |      |      |       | X    | X    |
| ACIDEZ TOTAL            |       |      |      |       |      |      |       | X    | X    |
| ALCALINIDAD TOTAL       |       |      |      |       |      |      |       |      |      |

Nota:

Si : N° de semana, i=1,2,3 ...,8

S.P. :Sedimentador Primario

R.B. : Reactor Biológico

S.S. : Sedimentador Secundario

### 5.3. ANALISIS REALIZADOS DURANTE EL PERÍODO DE MONITOREO PROGRAMADO

Algunos análisis fueron realizados en el Laboratorio N° 20 de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI, otros in situ (como O.D., pH y T°), y en su mayoría en Environmental Laboratories Perú S.A.C.

Estos análisis se realizaron siguiendo los respectivos métodos normados para cada parámetro y según el laboratorio donde se realizaron, tal como lo muestra la Tabla N° 5.4.

**Tabla N° 5.4:**  
**Métodos Utilizados al Analizar los Parámetros Monitoreados**

| PARÁMETROS                     | Laboratorio / Método utilizado / Equipo utilizado |                       |                        |
|--------------------------------|---|-----------------------|------------------------|
|                                | Lab. N°20 - UNI                                   | Envirolab Perú S.A.C. | In situ                |
| DBO5 (mg / lt)                 | Winkler   | MCAWW                 | -                      |
| DQO (mg / lt)                  | Colorimétrico                                     | MCAWW                 | -                      |
| pH                             | Electrodo   | TMESW                 | Medidor de pH portátil |
| SST (mg / lt)                  | Gravimétricos                                     | SMEWW                 | -                      |
| SSV (mg / lt)                  | Gravimétricos                                     |                       | -                      |
| SDT (mg / lt)                  | Gravimétricos                                     | MCAWW                 | -                      |
| OD (mg / lt)                   | -   | MCAWW                 | Winkler                |
| TEMPERATURA (°C)               | -   | -                     | Medidor de T° portátil |
| ACEITES GRASAS (mg / lt)       | Gravimétricos                                     | (*)                   | -                      |
| NITROGENO AMONIACAL (mg / lt)  | -   | SMEWW                 | -                      |
| NITROGENO ORGÁNICO (mg / lt)   | -   | SMEWW                 | -                      |
| FOSFORO TOTAL (mg / lt)        | -   | MCAWW                 | -                      |
| NITROGENO TOTAL (mg / lt)      | -   | SMEWW                 | -                      |
| COLIFORMES FECALES (NMP/100ml) | Filtro membrana                                   | SMEWW                 | -                      |
| COLIFORMES TOTALES (NMP/100ml) | Filtro membrana                                   | SMEWW                 | -                      |
| ACIDEZ TOTAL (mg/lt)           | -   | MCAWW                 | -                      |
| ALCALINIDAD TOTAL (mg / lt)    | -   | SMEWW                 | -                      |

MCAWW : Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. Revised March 1983

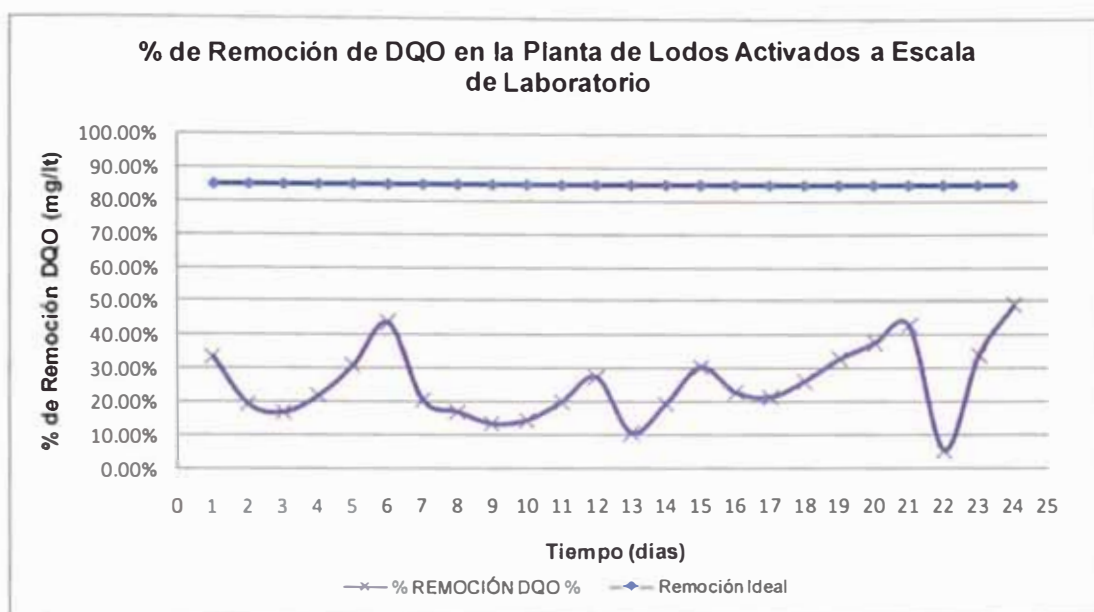
TMESW : Test Methods for Evaluation Solid Waste. Rev. November 1986

SMEWW: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21 st Ed 2005

(\*) N-Hexane Extractable Material (HEM Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM, Non Polar Material) by Extraction and Gravimetry. Revision A, Feb 1999.

De acuerdo a la cantidad de animales beneficiados, la composición de materia orgánica va sufrir diferentes variaciones, así los rangos de DQO estuvieron de 1686 a 4568 mg/L; y como consecuencia de estos cambios, la velocidad de carga orgánica fluctuó entre 1.69 y 4.57 (kg DQO/m<sup>3</sup>\*d)<sup>1</sup>. Ver gráfico N° 6.1.

**Gráfico N° 6.1: Porcentaje de remoción de DQO obtenida en el Sistema a Escala de Laboratorio**



Como se aprecia en el gráfico la remoción de la DQO no superó los porcentajes de remociones teóricas siendo esta de 85%. Esta remoción se evaluó en base a la DQO soluble, es decir se realizó un proceso de centrifugado al efluente. La remoción se evaluó en base a la DQO soluble, ya que las turbiedades afectaban la medición. Por tal razón, siempre se midió DQO soluble.

En el gráfico 6.1 se aprecia que los valores de remoción de la DQO se dieron en los primeros días de la puesta en marcha de la planta de lodos activados, alcanzando los mayores valores entre los días 6; 21 y 24 de operación de la planta. Asimismo no se pudo demostrar que la eficiencia varía con el TRH del sistema a escala de laboratorio.

<sup>1</sup> Ver anexo A, Tabla A.1.

Durante los días de operación de la planta se trabajó con TRH de cuatro horas, planteado desde un inicio por la información que se obtuvo del libro Ingeniería de Aguas Residuales (1995)

La remoción de la materia orgánica expresada en DQO se inició con un porcentaje de 33.36% llegando a un pico máximo de remoción de 48.72% de eficiencia.

No existe una tendencia clara de la remoción de DQO, sus valores son muy variables, pero se puede apreciar en la gráfica N° 6.1 que existen picos de remoción cada seis días aproximadamente, esto puede ser debido a que era necesario inocular lodo cada semana porque se generaba pérdidas debido a la formación de espumas. Estas espumas eran de color carmelitas y notaba la presencia de lodo en ellas, la presencia de espumas puede deberse a organismos filamentosos como el *Nocardia* spp, *Microthrix parvicella* o tipo 1863.

Hay que resaltar que los valores de VCO<sup>2</sup> son variables debido a que la alimentación de DQO fue variable a la salida del sedimentador primario, el rango de valores estuvo entre 1.69 a 4.57 kg/m<sup>3</sup>d, de igual manera los valores de la relación F/M (discutida más adelante), que estuvo entre 0.37 y 4.73 (gDQO/gSSV) d<sup>-1</sup>, en función de DQO.<sup>3</sup>; es importante señalar que con los cambios de alimentación también se deseaba evaluar la respuesta del sistema frente a distintas condiciones de relación F/M<sup>4</sup>; dicha relación alimento/microorganismos varió entre 0,87 y 3,79

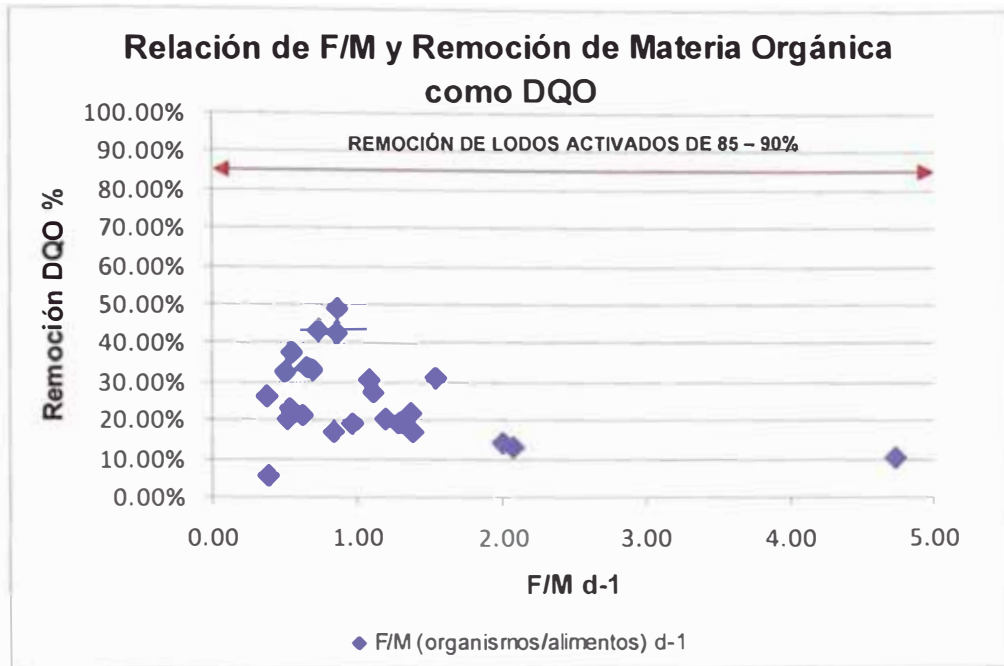
En el Gráfico N° 6.2. se muestra la relación entre F/M y el % de remoción de materia orgánica.

<sup>2</sup> VCO, Velocidad de Carga Orgánica.

<sup>3</sup> Ver anexo A, Tabla A.3.

<sup>4</sup> "Según Metcalf y Eddy (1995), los valores típicos encontrados en la literatura varían entre 0,05 y 1 kgDBO/kgSSVLM\*d. Por su parte, Ramalho (1993) es más específico al señalar que valores de F/M entre 0,3 y 0,6 kgDBO/kgSSVLM\*d son óptimos para obtener un lodo con buenas características de sedimentabilidad".

**Gráfico N° 6.2: Relación entre F/M<sup>5</sup> y Remoción de Materia Orgánica en el Sistema a Escala de Laboratorio**



Este gráfico demuestra que la remoción de DQO en la práctica es independiente del factor F/M, dado que el sistema opera en un rango DE eficiencia de 30 a 50% para valores de F/M de 0.50 a 1.30 d<sup>-1</sup> (no se puede encontrar unidades comparables con la literatura: 0.2 a 0.5 kgDBO/kgSSVLM\*d debería estar en un rango de remoción del 80%).

Es importante señalar que la remoción de la DQO no se ve influenciada con la relación F/M, debido a que el parámetro que controla la relación alimento/microorganismos es la DQO del afluente.

En la Tabla N° 6.2 se observa el intervalo de valores entre los cuales estuvieron los parámetros de control a lo largo de todo el período de evaluación del sistema de lodos activados a escala de laboratorio. La temperatura no presentó variaciones significativas, al igual que el pH, el cual fue prácticamente neutro y en escasas ocasiones los valores estuvieron por encima de 7, debidos probablemente a alguna alteración en

<sup>5</sup> F/M, relación en ingles que traducido al español es (A/M); Alimento / Microorganismo

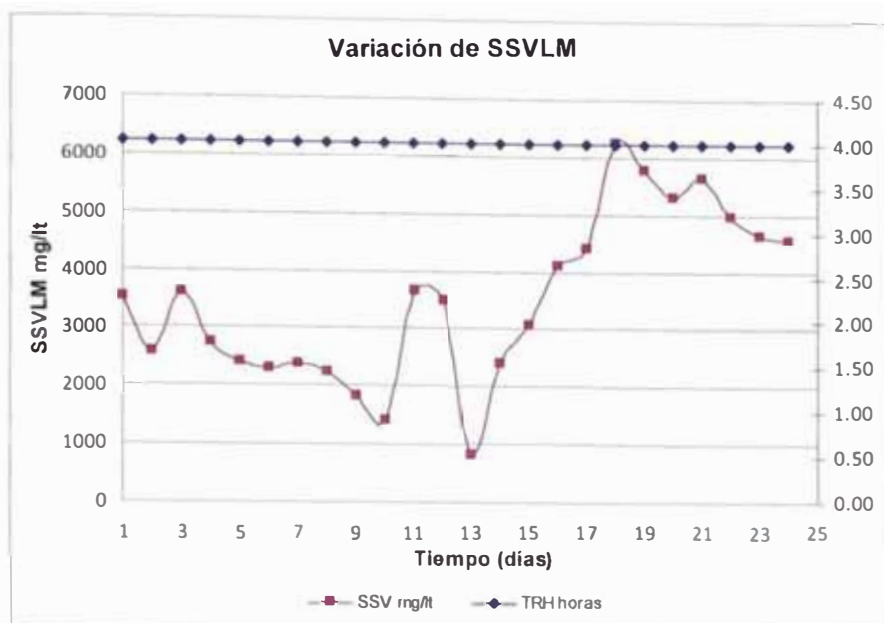
las características del líquido residual de alimentación. Con respecto al oxígeno disuelto en el reactor, no se encontró registro alguno, debido a que se tenía que implementar el doble número de equipos de inyección de aire para poder satisfacer la demanda teórica; pero se debe resaltar que incluso bajo estas condiciones se logro una remoción hasta de 50%.

**Tabla N°: 6.2: Variaciones de T° y Ph en el Sistema a Escala de Laboratorio**

| FECHA    | SEMANA | Sed Primario |      | Reactor |      | Sed. Secundario |      |
|----------|--------|--------------|------|---------|------|-----------------|------|
|          |        | T °C         | Ph   | T °C    | Ph   | T °C            | Ph   |
| 17-04-09 | 1      | 27.70        | 7.32 | 23.20   | 7.82 | 23.20           | 7.82 |
| 20-04-09 |        | 28.70        | 7.48 | 27.50   | 7.98 | 26.30           | 8.07 |
| 21-04-09 |        | 26.60        | 7.55 | 27.10   | 7.93 | 26.70           | 7.94 |
| 22-04-09 | 2      | 22.00        | 7.72 | 26.30   | 7.55 | 25.50           | 7.50 |
| 23-04-09 |        | 24.10        | 7.50 | 25.00   | 7.51 | 24.30           | 7.47 |
| 24-04-09 |        | 20.40        | 8.24 | 25.40   | 7.59 | 24.60           | 7.47 |
| 28-04-09 | 3      | 20.20        | 7.80 | 23.59   | 7.86 | 24.10           | 7.86 |
| 29-04-09 |        | 20.00        | 8.08 | 23.60   | 7.78 | 23.80           | 7.79 |
| 30-04-09 |        | 21.10        | 7.69 | 22.80   | 7.65 | 23.20           | 7.72 |
| 05-05-09 | 4      | 24.10        | 7.52 | 24.10   | 7.72 | 23.70           | 7.52 |
| 06-05-09 |        | 22.30        | 7.44 | 24.80   | 7.40 | 25.60           | 7.28 |
| 07-05-09 |        | 20.40        | 7.42 | 22.70   | 7.40 | 23.10           | 7.24 |
| 12-05-09 | 5      | 17.90        | 7.32 | 20.50   | 7.59 | 19.60           | 7.44 |
| 13-05-09 |        | 19.50        | 8.16 | 21.80   | 7.75 | 21.40           | 7.59 |
| 14-05-09 |        | 20.60        | 7.46 | 22.30   | 7.54 | 20.70           | 7.43 |
| 19-05-09 | 6      | 20.10        | 7.72 | 22.00   | 7.71 | 20.50           | 7.68 |
| 20-05-09 |        | 19.30        | 8.01 | 21.70   | 7.71 | 21.70           | 7.57 |
| 21-05-09 |        | 17.40        | 7.98 | 20.00   | 7.74 | 19.98           | 7.65 |
| 26-05-09 | 7      | 20.60        | 7.60 | 21.40   | 7.85 | 21.60           | 7.84 |
| 27-05-09 |        | 18.00        | 7.45 | 22.00   | 7.60 | 21.90           | 7.61 |
| 28-05-09 |        | 22.40        | 7.80 | 23.50   | 7.90 | 23.70           | 7.91 |
| 02-06-09 | 8      | 21.90        | 7.90 | 22.30   | 7.93 | 22.20           | 7.97 |
| 03-06-09 |        | 19.60        | 7.63 | 21.70   | 7.72 | 21.60           | 7.80 |
| 04-06-09 |        | 22.00        | 7.74 | 22.50   | 7.80 | 22.50           | 7.81 |
| PROMEDIO |        | 21.54        | 7.69 | 23.24   | 7.71 | 22.98           | 7.67 |

Con respecto a la biomasa del sistema, ésta se mantuvo entre 0.7 y 6.2 gSSVLM/L, no se realizo las purgas de lodo para tener un incremento en el crecimiento del lodo biológico, pero hubo días donde al momento de renovar el lodo hizo que éste aumentará de manera brusca hasta llegar a un punto más alto como se aprecia en la Gráfica N° 6.3. El criterio que se ha considerado para las purgas en esta etapa de experimentación, sin que esta sucediera, fue el de mantener la biomasa en el rango de 2.5 a 5 gSSVLM/L, y dentro de un valor en el cual la eficiencia de remoción no bajará.

**Grafico N° 6.3: Evolución de la biomasa SSVLM en sistema a Escala de Laboratorio**



Como se observa en el grafico, se presentaron fluctuaciones importantes de la concentración de biomasa, que probablemente se debieron a problemas en la toma de muestras, específicamente cuando se produjo acumulación de lodo biológico en el clarificador o a la inoculación con lodo nuevo.

Mediante la operación de este sistema se hizo una primera definición de la edad del lodo dentro de un valor recomendado por la literatura. Metcalf y Eddy (1995) señalan que para aguas residuales urbanas, tiempos medios de retención celular entre 3 y 15 días conducen a la producción de un efluente de alta calidad y con excelentes características de sedimentabilidad, además una alta edad del lodo favorece el desarrollo de flora nitrificante.

En cuanto a las características de sedimentación, su análisis se realizó considerando el índice volumétrico de lodo (IVL). Como señala la literatura, el IVL es un indicador que relaciona la concentración de sólidos suspendidos y la sedimentabilidad del licor mezclado, por tanto es útil para

determinar las características de sedimentación de un lodo en un sistema de lodos activados.

Por otro lado, se ha obtenido valores de relación de IVL entre 21.36 y 64.78 ml/g. pero existe un valor que esta fuera del rango por se el único y es de 154 ml/g, en algunos casos se puede apreciar que los valores están fueran del rango típico de literatura (rango de 35 – 150 ml/g). A esto hay que agregar que no se observó problemas de sedimentabilidad<sup>6</sup>.

El valor promedio del período en el sistema piloto fue 40.96 ml/g (dato obtenido del promedio de valores de IVL, que se muestran en anexo A, Tabla A.3.). Comparándolo con los valores señalados por la literatura, este resultado se encuentra dentro del rango al cual se hizo mención anteriormente, por lo tanto se puede concluir que el lodo obtenido posee buenas características de sedimentación.

## 6.2 CONTROL DEL PROCESO

Para mantener elevados valores de eficiencia de remoción de materia orgánica, frente a una variedad de condiciones de funcionamiento, es fundamental controlar algunos factores principales que intervienen en el proceso. Según señala Metcalf y Eddy (1995), éstos son:

- Mantener niveles de OD en el reactor aireado entre 2 y 4 mg/L, ya que a concentraciones mayores no se producen notables mejoras en el proceso, sino más bien aumentan los costos de aireación. Para el caso de este estudio la concentración de OD por lo general fue superior a 2 mg/L, debido a que no fue posible regular el flujo de aire entregado por el difusor.

Controlar la recirculación del lodo, a fin de mantener una concentración de lodo activo en el reactor capaz de biodegradar la materia orgánica en un tiempo determinado para ello. En este

<sup>6</sup> Ver anexo A, Tabla A.3.



estudio, la recirculación se dio por un trabajo a la gravedad, es decir debido a la abertura entre el reactor biológico y el sedimentador secundario, se producía la recirculación por efecto de la gravedad. Se recomienda que los valores deben fluctuar entre 0,5 y 1 (Metcalf y Eddy, 1995).

- Control purga de lodos: Con la línea de recirculación se busca mantener una edad del lodo de 15 días.

### 6.3 CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE TRATADO

En la Tabla N° 6.3 se muestran los resultados de los análisis realizados tanto al agua residual a la salida del sedimentador primario, como al efluente obtenido después del tratamiento biológico de lodos activados, así como el porcentaje de remoción de cada parámetro.

**Tabla N° 6.3: Composición del agua residual cruda, tratado y porcentaje de remoción**

| PARÁMETROS     | UNIDAD | AFLUENTE | EFLUENTE | % REMOCIÓN |
|----------------|--------|----------|----------|------------|
|                |        | PROMEDIO |          |            |
| DBO5           | mg/lts | 1788     | 1290.5   | 27.82%     |
| DQO            | mg/lts | 2990     | 2218     | 25.82%     |
| PH             | -      | 7.69     | 7.71     | -          |
| SST            | mg/lts | 367.67   | 263.42   | -          |
| SSV            | mg/lts | 339.08   | 226.17   | 33.30%     |
| TEMPERATURA    | °C     | 21.54    | 22.98    | -          |
| ACEITES GRASAS | mg/lts | 16.38    | 10.63    | 35.11%     |

Se puede observar que para valores promedio de carga orgánica alimentada al sistema existió una reducción de materia orgánica carbonácea como DQO, durante la operación del sistema, dando por resultado remociones promedio de DQO sobre el 25% y de DBO de 27%.

Se nota claramente que existe una baja eficiencia de remoción comparado con lo que se debería haber obtenido de acuerdo a los rangos de la literatura (85 – 95%), ello es debido a que no se logró suministrar la cantidad suficiente de oxígeno que demandó el sistema y además con las constantes renovaciones de lodo no se pudo mantener el lodo activo durante todo el proceso de funcionamiento de la planta.

**01**

**02**

**03**

**04**

**AGUA RESIDUAL ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO**  
**01: Tanque de Homogenización; 02: Sedimentador Primario;**  
**03: Reactor Biológico; 04: Sedimentador Secundario**

Las siguientes conclusiones están referidas a la planta de lodos activados a escala de laboratorio. Hay que resaltar que las conclusiones están distribuidas según la actividad y/o unidad de tratamiento realizada y utilizada respectivamente.

### **CAPTACIÓN - TRATAMIENTO PRELIMINAR**

- ✓ Un colador metálico de Ø10" y 2mm de espaciamiento, sirvió como tratamiento preliminar (rejas) para retener los sólidos gruesos y finos. El tiempo de vida útil fue de 3 meses.
- ✓ El agua residual crudo contenía sólidos gruesos: excremento y vísceras de ganado vacuno y porcino, así como paja y contenido ruminal de vacunos. El peso de estos sólidos secos a la intemperie varió entre 10 gr/50lt y 250gr/50lt agua residual cruda. Estos sólidos se pueden colocar en un lecho de secado u otra unidad de tratamiento, para luego disponerlos finalmente de forma y en lugar adecuado.

### **TANQUE DE HOMOGENIZACION**

- ✓ Se debe considerar esta unidad, para poder lograr una buena mezcla homogénea del agua residual captada, por lo que su dimensionamiento se debe realizar como parte del diseño.
- ✓ Los valores de pH del crudo variaron entre 7.16 y 7.89.

### **SEDIMENTADOR PRIMARIO**

- ✓ Los valores de pH variaron entre 7.32 y 8.24 y T° entre 17.40° C y 28.70 °C.
- ✓ El Tiempo de retención del agua residual en esta unidad fue de 18 horas.

- ✓ En la superficie se forma una capa de sólidos que cubre toda la unidad, esta capa se empieza a formar a las 2 horas aproximadamente.
- ✓ En el diseño no se considero el volumen a extraer para realizar las muestras para los análisis respectivos.
- ✓ Se forma una película de grasa y sólidos pegados en las paredes y fondo de la unidad que obstruyen la válvula de salida hacia el reactor.

### **REACTOR BIOLÓGICO**

- ✓ Los valores de pH variaron entre 7.40 y 7.98 y T° variaron entre 20°C y 27.50°C.
- ✓ Esta unidad puede remover hasta 53.59 % de DBO, 48.72 % DQO, SST y SSV hasta 76.37%, Aceites y Grasas hasta 57.14%, Coliformes Totales hasta 99.30% y Coliformes Fecales hasta 99.30%.
- ✓ La eficiencia máxima obtenida en remoción de DBO (53.59%) no se encuentra dentro del rango señalado para este tipo de sistema de tratamiento (85-95%, Metcalf and Eddy, 1995, p.625) debido probablemente a : la alta carga orgánica que contienen este tipo de aguas residuales, la poca transferencia de oxígeno al licor mezclado, la presencia de organismos filamentosos, la proporción lodo/agua residual (1/3), a mayor tiempo de retención en el reactor, a la distribución y ubicación de los difusores, el lodo utilizado es de una planta de tratamiento de desagües domésticos mediante lodos activados, entre otros.
- ✓ En la etapa de operación se pudo obtener los siguientes parámetros de diseño para el reactor biológico a escala de laboratorio, los cuales se señalan a continuación: TRH: 4horas; relación F/M entre 0.37 y 4.73 Kg de DQO/ Kg de SSVLM x día; VCO entre 1.69 a 4.57 kg DQO /m3 día y

una concentración de sólidos suspendidos volátiles SSV entre 797.00mg/lit hasta 5,772.00 mg/lit.

- ✓ Cuando el desagüe viene cargado con altas concentraciones de grasas, se forma una capa de grasa en toda la superficie y se pega en las paredes, el cual tiene que ser retirado mediante una paleta o plancha de jebe.
- ✓ La evaporación máxima y mínima fue 21.62ml/1lt agua y mínima 2.70mm/1lt agua respectivamente.
- ✓ La tasa de clarificación se realizó en un vaso de vidrio pirex, de 6cm de altura y 0.13lt, los valores de esta tasa variaron entre  $1.09 \times 10^{-6}$  a  $4.17 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$  y el tiempo de sedimentación varió entre 30 a 56 min. Los valores promedio del tiempo de sedimentación y tasa de clarificación fueron de 43.2min y  $2.49 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$  respectivamente.
- ✓ Técnicamente este tipo de tratamiento resulta efectivo para remover la alta carga orgánica que tienen estas aguas residuales.
- ✓ Por la alto contenido de carga orgánica (como DBO y DQO) se necesitó de un alto consumo de energía eléctrica (32 watt/seg=115.20kW/h), por lo que se ha comprobado que efectivamente este tipo de tratamiento es muy costoso, y su aplicación para tratar este tipo de agua residual (provenientes del área de beneficio del camal) dependerá de los recursos económicos con que cuente el camal.

#### \* Diseño - Geometría

- ✓ El reactor biológico debe estar separado del sedimentador secundario, para evitar que un volumen de agua residual sin tratar pase a la siguiente unidad, y no estar sellando la apertura que interconecta el reactor con el

sedimentador cada vez que se pone en funcionamiento el primero o estar recirculando el volumen que pasa al segundo, para que sea tratado.

- ✓ Con sección rectangular se forman zonas muertas en la parte inferior de esta unidad.

#### \* **Bombas de aireación**

- ✓ Se pudo observar que la aireación por chorro transfiere mucho más oxígeno que la aireación por difusión, siendo las potencias de las bombas de 9.00watts (aireación por chorro) y 2.00 (aireación por difusión) y 3.00 watt (aireación por difusión), además que la capacidad de oxigenación de cada una de ellas es de 15.63 gr/h.m<sup>3</sup>, 15.63 gr/h.m<sup>3</sup> y 9.43 gr/h.m<sup>3</sup> respectivamente.

#### \* **Difusores**

- ✓ Los difusores se deben de distribuir de tal forma para que el aire se distribuya uniformemente dentro de la unidad.
- ✓ Se debe de probar también que tipo de difusor se va a utilizar, haciendo pruebas de rendimiento de cada uno de ellos. En nuestro caso probamos con los del tipo manguera agujerada, difusor de sección: cilíndrica, prisma, así como solo manguera de plástico de Ø5.78mm.

#### \* **Lodos**

- ✓ Cada vez que se extrae muestra de esta unidad, el volumen de lodos disminuía, por lo que después de un cierto tiempo (una semana después en nuestro caso) hay que reponerlo. Esto ocurría también cuando se purgaban los lodos que sedimentaban en el sedimentador secundario.

- ✓ Los lodos que no son recirculados (purgados) se pueden colocar en un lecho de secado u otra unidad de tratamiento, para luego disponerlos finalmente de forma y en lugar adecuado.

### \* Espumas

- ✓ En la puesta en marcha no se forman gran cantidad de espumas, mientras se añadían más difusores, estas incrementaban su volumen.
- ✓ Estas se eliminan, cuando se apagan los motores de aireación.
- ✓ Mientras más "antiguo" era el lodo, más espumas se formaban.
- ✓ Se forman gran cantidad de espumas durante el proceso de aireación.
- ✓ Esta contiene sólidos, aire y agua residual que esta siendo tratada.
- ✓ Estas sobrepasan el nivel superior del reactor.
- ✓ Por cada litro de espuma extraída, este contenía alrededor de 10ml de agua residual, que era retornado al reactor, para su tratamiento.
- ✓ En el arranque de la planta las espumas tenían un color blanco a gris, delgada, lo que pudo ser ocasionado porque que el lodo era "joven", o edad de lodos baja.
- ✓ Mientras maduraba el lodo, la espuma se volvía estable, espesa y de color carmelita, lo que pudo ser inducido por organismos filamentosos: *Nocardia* spp, *Microthrix parvicella* o tipo 1863.

### **SEDIMENTADOR SECUNDARIO**

- ✓ Los valores de pH variaron entre 7.24 y 8.07 y T° variaron entre 19.98 °C y 26.30 °C.

- ✓ Al separar esta unidad del reactor, se evita que el lodo sedimentado en esta unidad se levante en algún momento, cuando ingresa el caudal de agua residual a tratar en el reactor biológico (como nos sucedió en algún momento).
- ✓ Si se separa esta unidad del reactor, el ingreso del agua residual tratada en el reactor, debe ser por la parte superior, y la altura de esta unidad debe ser tal, que el tiempo en llenarse (antes de rebalsar y pasar al canal de recolección) sea el tiempo necesario para que sedimenten los sólidos y lodo que pasan del reactor.
- ✓ Los lodos que no son recirculados (purgados) se pueden colocar en un lecho de secado u otra unidad de tratamiento, para luego disponerlos finalmente de forma y en lugar adecuado.

## **CANAL DE RECOLECCIÓN**

- ✓ La profundidad considerada no fue suficiente para almacenar el volumen necesario para realizar los análisis respectivos, por lo que se tuvo que cerrar la válvula de descarga constantemente.
- ✓ No se le dio la pendiente necesaria al fondo de esta unidad, por lo que el muestreo tomaba más tiempo.
- ✓ Se encontró una disminución del olor; al inicio del proceso, el agua residual tuvo un olor no tan intenso y al final del tratamiento se observa la presencia de un ligero olor.
- ✓ En cuanto al color del agua que se observó antes y después del tratamiento; se ve una disminución del mismo después del bioproceso, ya que el agua residual presentaba un color rojo intenso que llegó a ser beige oscuro (tal como se muestra en la carátula de este capítulo) .



# CAPITULO VIII



## RECOMENDACIONES

Las siguientes recomendaciones están referidas a la planta de lodos activados a escala de laboratorio. Estas recomendaciones que se señalan a continuación y están distribuidas según la actividad y/o unidad de tratamiento realizada y utilizada respectivamente.

### **CAPTACIÓN - TRATAMIENTO PRELIMINAR**

- ✓ Si en el diseño de la planta a escala de laboratorio no se puede considerar el tratamiento preliminar, tal como una cámara de rejillas, se puede utilizar un colador metálico con espaciamientos según el tamaño de los sólidos que se desee atrapar.
- ✓ Los sólidos atrapados deben ser pesados húmedos y secos para obtener la cantidad de sólidos que se captan por volumen de agua residual captada, para dimensionar las unidades de tratamiento de estos sólidos.

### **TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN**

- ✓ Esta unidad de preferencia debe ser de sección circular y estar rotulado con los volúmenes aforados para tener un mejor control del volumen vertido.
- ✓ Es importante considerar el desnivel entre esta unidad con el sedimentador primario (como parte del diseño), para poder tener una carga hidráulica adecuada y así lograr una buena distribución de caudal de ingreso al sedimentador primario.
- ✓ Se debe mezclar con una paleta todo el tiempo que dure la descarga del agua homogenizada hacia el sedimentador primario.
- ✓ En el diseño debe de considerarse una válvula de purga, para la limpieza de esta unidad.

## SEDIMENTADOR PRIMARIO

- ✓ Es importante probar la unidad con agua limpia para verificar la correcta hermeticidad de las paredes de la unidad, así como calibrar las válvulas de control.
- ✓ En la cara lateral del sedimentador se puede colocar una cinta métrica para medir mediante las alturas, el volumen de agua residual que contiene.
- ✓ La tubería de distribución de caudal debe estar 5cm por encima del nivel máximo de desagüe como mínimo.
- ✓ Se recomienda que el sedimentador tenga sección circular, para evitar zonas muertas.
- ✓ Sería mejor si esta unidad fuera de altura considerable, para lograr una buena sedimentación.
- ✓ Se recomienda que el fondo del sedimentador tenga pendiente pronunciada, con la finalidad de lograr una buena sedimentación de los sólidos que contiene el agua residual que ingresa del tanque de homogenización
- ✓ La pantalla transversal al ingreso del agua residual debe llegar a 1cm por encima del fondo y a 10cm de distancia con respecto de la tubería de ingreso para que los sólidos sedimenten rápidamente.
- ✓ Los diámetros de los agujeros de purga debe ser de  $\text{Ø}3/8$ " como mínimo, para evitar obstrucciones en la evacuación de los sólidos sedimentados.
- ✓ El diámetro del agujero de salida de agua residual sedimentada al reactor, debe ser de  $\text{Ø}3/8$ " como mínimo, para un mejor control del caudal.

- ✓ Se debe medir el volumen de los sólidos evacuados para dimensionar la unidad de tratamiento de los mismos.
- ✓ Se debe considerar una manguera de plástico flexible en la parte lateral de la unidad con la finalidad de tomar las muestras, esta puede estar ubicada en la mitad de la altura total del sedimentador.
- ✓ Se puede considerar un dispositivo que extraiga la capa de sólidos que se forma en la superficie, después del tiempo de retención. Este puede ser una plancha rectangular de jebe, como en nuestro caso.
- ✓ El volumen del sedimentador primario debe de considerar el volumen a ser tratado por el reactor biológico y el volumen que se va a extraer en esta unidad para los análisis respectivos, según el día de muestreo programado
- ✓ Se debe remover la película de grasa y sólidos que se pegan a las paredes y fondo de la unidad, para que estos no se conviertan en sólidos para el nuevo volumen de agua residual a tratar.
- ✓ Las salidas de los agujeros donde se extraen los sólidos sedimentados debe de ser de  $\text{Ø}3/8$ " como mínimo.
- ✓ Los sólidos sedimentados se pueden colocar en un lecho de secado u otra unidad de tratamiento, para luego disponerlos finalmente de forma y lugar adecuado.

## **REACTOR BIOLÓGICO**

### **\* Diseño - Geometría**

- ✓ Sería mejor si el reactor biológico esta separado del sedimentador secundario, para evitar que un volumen de agua residual sin tratar pase a la siguiente unidad, y no estar sellando la apertura que interconecta el

reactor con el sedimentador cada vez que se pone en funcionamiento el primero o estar recirculando el volumen que pasa al segundo, para que sea tratado.

- ✓ Se recomienda que el reactor tenga sección circular, para evitar zonas muertas.
- ✓ En el diseño debe de considerarse una válvula de purga, para la limpieza de esta unidad.
- ✓ Es importante probar la unidad con agua limpia para verificar la correcta hermeticidad de las paredes de la unidad, así como calibrar las válvulas de control.
- ✓ Se recomienda que la tubería de distribución de caudal se coloque como mínimo a 5cm por encima del nivel máximo de desagüe, debido a que durante el tratamiento se forman espumas.
- ✓ En la cara lateral del reactor se puede colocar un cinta métrica para medir mediante las alturas, el volumen de agua residual que se esta tratando, así como el volumen de lodo que se tiene durante el tratamiento.
- ✓ La pared que divide el reactor con el sedimentador secundario debe prolongarse en su parte superior hasta el mismo nivel superior de toda la unidad, para evitar que las espumas pasen al sedimentador secundario.
- ✓ Si se mantiene la sección rectangular de esta unidad, se recomienda utilizar una vara de plástico (para evitar romper el vidrio), con el cual se pueda remover el lodo que se deposita en las esquinas del fondo de la unidad
- ✓ Se recomienda considerar un dispositivo que extraiga la capa de espumas que se forman, mientras se realiza la aireación. Este puede ser una plancha rectangular de jebe o una cuchara como en nuestro caso.

- ✓ Mientras más profundo es el reactor, se puede obtener un mejor contacto entre las burbujas de aire con el licor mezclado.

#### \* **Tubería de ingreso de caudal**

- ✓ La tubería de ingreso debe de distribuir el caudal deseado con una velocidad adecuada para lograr una distribución uniforme, para esto los diámetros de estos agujeros deben ir disminuyendo en la misma dirección del flujo que va ingresando.

#### \* **Bombas de aireación**

- ✓ Estos deben estar ubicados cerca al lugar donde van a airear para que no haya pérdida de carga representativa en las mangueras donde se transmite el aire.
- ✓ Es mejor que estos se ubiquen por encima del nivel máximo de agua residual en el reactor biológico, para evitar colocar válvulas antiretorno (check).
- ✓ Conocer la potencia de cada motor al momento de comprarlos y determinar también (con agua) cual es su eficiencia.

#### \* **Difusores**

- ✓ Estos se deben de colocar en el fondo de la unidad, teniendo cuidado en que no se obstruyan los poros y/o agujeros de los mismos.
- ✓ Conforme va ingresando el agua residual al reactor, se puede encender los aireadores para ir transfiriendo oxígeno al mismo.

#### \* **Lodos**

- ✓ Es mejor utilizar lodo proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados, para facilitar la adaptación del lodo con el

agua residual del área de beneficio del camal y así evitar periodos largos en la puesta en marcha debido a la maduración del lodo.

- ✓ Mejorar las características de sedimentabilidad de los lodos.
- ✓ Mantener una concentración óptima de biomasa en el reactor biológico.
- ✓ Mejorar la eficiencia de tratamiento del proceso.
- ✓ Mantener un índice volumétrico de lodos menor de 150mL/g, este debe determinarse de acuerdo con la experiencia operativa previa.
- ✓ Mantener una edad óptima de lodos.
- ✓ Mantener una relación alimento/microorganismos apropiada.
- ✓ Identificar los grupos principales de microorganismos de los lodos activados y establecer su abundancia relativa para evaluar la calidad del lodo.

#### \* **Espumas**

- ✓ Se puede considerar en el diseño una malla fina de polietileno u otro material, que se coloque en la parte superior de la unidad, con la finalidad de evitar que las espumas sobrepasen el borde y rebalsen. Cuando esta malla se satura de espuma, se puede regar con la misma agua residual y así disminuir el volumen de espumas.
- ✓ Se puede considerar en el diseño un canal lateral (sección rectangular) donde se recolecten las espumas, ya que estas contienen (menor volumen) aire, lodo y agua residual que puede ser recirculado a la unidad para su continuo tratamiento.

#### \* **Muestreo**

- ✓ Mantener las concentraciones de SSV en el licor ayudará a una adaptación adecuada del lodo en los rangos establecidos.
- ✓ Los parámetros pH y T° deben de ser medidos in situ para obtener valores más confiables.

### **SEDIMENTADOR SECUNDARIO**

- ✓ Se recomienda que el sedimentador secundario este separado del reactor biológico, para evitar que un volumen de agua residual sin tratar pase a esta unidad, y no estar sellando la apertura que interconecta el reactor con este, cada ves que se pone en funcionamiento el reactor, o estar recirculando el volumen que pasa hacia esta unidad, para que sea tratado
- ✓ Se debe determinar el tiempo de retención del agua residual en esta unidad, midiendo cuanto tiempo se demoran los sólidos en sedimentar.
- ✓ En el diseño debe de considerarse una válvula de purga, para la recirculación y limpieza de los lodos que se depositan en esta unidad.

### **CANAL DE RECOLECCIÓN**

- ✓ Su profundidad debe ser diseñada, de tal forma que pueda recolectar el volumen de agua residual suficiente para realizar los análisis respectivos.
- ✓ El fondo de esta unidad debe tener una pendiente mínima de 1% en dirección del punto de toma de muestra.
- ✓ Si el sedimentador secundario es de sección circular, este canal también puede ser de sección circular e ir ubicado en el centro del sedimentador secundario.



- ✓ El fondo de esta unidad puede ser similar al sedimentador primario, sea cual fuese (rectangular o circular) su sección, es decir de tronco cónico.

**En general:**

- ✓ El muestreo se debe realizar con la protección personal necesaria, tal como mandil, guantes y mascarilla, par evitar tener contacto directo con el desagüe y los gases que se emanan al muestrear y/o recircular el lodo.
- ✓ Es mejor elaborar un registro de muestreo, donde contemple los datos que son repetitivos, tales como: fecha, hora, lugar, T°, pH, para llevar un mejor control al momento de extraer desagüe crudo o tratado.
- ✓ Las muestras deben ser colocadas en un cooler con refrigerante para mantener las condiciones iniciales al momento del muestreo y ser llevadas al laboratorio, esto con la finalidad de obtener resultados más confiables.

**a. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:**

- ✓ APHA, AWWA, WPCF (1989): **"Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"**. Ed. 17. Washington. 1391 pp.
- ✓ Finanmore Correa, Carolina (1999). **"Constantes Cinéticas en un Sistema de Lodos Activados a Escala de Laboratorio"**, Venezuela. En línea: <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidual/i-190.pdf>
- ✓ Jimeno Blasco, Enrique (1998). **"Análisis de Aguas y Desagües"**, 2da Ed., Ediciones Banco de Libros, Lima Perú.
- ✓ Metcalf & Eddy (1995). **"Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización"**, Volumen 1.3ra. Ed., Editorial McGraw-Hill, Madrid.
- ✓ Muñoz, Deyanira (2005). **"Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Matadero: Para una población menor 2000 habitantes"**, Volumen 3, Colombia.
- ✓ Ramalho, R. S. (1996). **"Tratamiento de Aguas Residuales"**, 2da Ed., Editorial Reverté, Barcelona.
- ✓ Romero Rojas, Jairo (2005). **"Tratamiento de Aguas Residuales" Teoría y Principios de Diseño**, 2da Ed., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- ✓ Tejero Gómez, Jorge et al (2007). **"Análisis del Reactor de Lodos Activados de la Planta Centenario"**, México. En línea: [http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007\\_Vol\\_2/Num\\_1/7\\_JT\\_Volll\\_63-71\\_2007.pdf](http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007_Vol_2/Num_1/7_JT_Volll_63-71_2007.pdf)

**b. REFERENCIAS EN LA WEB:**

- ✓ <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/peru/ventar017.pdf>
- ✓ <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/mexico/01401e21.pdf>
- ✓ <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2738/2/37258-2.pdf>
- ✓ [http://www.produccionlimpia.cl/medios/Guia\\_Aves\\_y\\_Huevos.pdf](http://www.produccionlimpia.cl/medios/Guia_Aves_y_Huevos.pdf)
- ✓ <http://revistas.mes.edu.cu/eduniv/02-Libros-por-SBN/FelixVarela/9789590703393.pdf/view>
- ✓ <http://www.alcion.es/Download/ArticulosPDF/al/gratis/01articulo.pdf>
- ✓ <http://www.bvsde.paho.org//bvsaidis//mexico11//ar-10.pdf>
- ✓ <http://www.bvsde.paho.org//bvsaidis//mexico11//ar-8.pdf>
- ✓ [http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa\\_de\\_aguas\\_residuales](http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales)