

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
QUÍMICO

**CONTROL BULKING FILAMENTOSO EN  
PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS CON  
AIREACIÓN EXTENDIDA**

**Katterine Contreras Bernal**

Profesor Guía:  
José Torres Titus

2010

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	2
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL .....	5
1.2 MARCO TEÓRICO.....	6
1.2.1 Método de tratamientos de Aguas servidas .....	6
1.2.1.1 Tratamiento Primario .....	6
1.2.1.2 Tratamiento Secundario .....	7
1.2.1.3 Tratamiento Terciario.....	7
1.2.2 Potencial Oxido-Reducción (POR) .....	7
1.2.2.1 La Nitrificación .....	7
1.2.2.2 La Desnitrificación .....	8
1.2.3 Microscopía de los lodos .....	8
1.3 OBJETIVOS .....	14
1.3.1 Objetivo.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.....	14
<b>2. DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS .....</b>	<b>15</b>
<b>3. ANÁLISIS DE MICROSCOPIA DE LAS PLANTAS ESTUDIADAS .....</b>	<b>17</b>
3.2 PLANTA CURACAVÍ .....	17
3.3 PLANTA PAINE .....	23
3.4 PLANTA LOS TRAPENSES.....	29
<b>4. CAUSAS Y EFECTOS DE PROLIFERACIÓN DEL BULKING FILAMENTOSO .....</b>	<b>35</b>
4.2 ANÁLISIS DE CAUSAS Y EFECTOS DE PROLIFERACIÓN DEL BULKING FILAMENTOSO.....	38
4.2.1 Causas de la proliferación del Bulking filamentoso.....	38
4.2.1.1 Déficit de oxígeno .....	38
4.2.1.2 Excesos de Aceite y Grasa.....	40
4.2.1.3 Deficit en la relación de F/M .....	41
4.2.1.4 Retornos del espesador.....	42
4.2.1.5 Retornos de la centrifuga .....	43
4.2.1.6 Bajas temperaturas.....	44
4.2.2 Efectos de la proliferación del Bulking filamentoso .....	45
4.2.2.1 Mayor consumo de Hipoclorito en la desinfección .....	45

4.2.2.2	Porcentaje de materia seca de lodo deshidratado .....	46
<b>4.3</b>	<b>CONCLUSIONES DE CAUSAS Y EFECTOS .....</b>	<b>47</b>
<b>5.</b>	<b>CONTROL DEL FENÓMENO BULKING Y ESPUMA .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>EXPERIENCIAS Y EVOLUCIÓN DEL FENÓMENO .....</b>	<b>49</b>
5.2.1	Control Bulking .....	49
5.2.1.1	Primera experiencia Control Bulking .....	49
5.2.1.2	Segunda experiencia Control Bulking .....	53
5.2.2	Control Espuma .....	57
5.2.3	Conclusiones de experiencias .....	58
<b>5.3</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	<b>59</b>
5.3.1	Control Bulking .....	59
5.3.1.1	Costo antes de la aplicación.....	59
5.3.1.2	Costo después de la aplicación.....	60
5.3.2	Control Espuma.....	60
5.3.2.1	Costo antes de la aplicación.....	60
5.3.2.2	Costo después de la aplicación.....	61
<b>6.</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE CONTROL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMA.....</b>	<b>62</b>
<b>6.2</b>	<b>CONTROL BULKING.....</b>	<b>62</b>
6.2.1	Procedimiento de Identificación de Bulking.....	62
6.2.1.1	Índice Volumétrico de Lodo (IVL) .....	62
6.2.1.2	Análisis de Microscopia de Lodo activado.....	63
6.2.2	Procedimiento de control Bulking.....	64
6.2.2.1	Aplicación Control Bulking .....	64
6.2.2.2	Lista de verificación de parámetros de proceso.....	65
<b>6.3</b>	<b>CONTROL ESPUMA.....</b>	<b>65</b>
6.3.1	Procedimiento de Identificación de Espuma .....	66
6.3.1.1	Visualización de la Espuma.....	66
6.3.1.2	Análisis de microscopia de Espuma.....	67
6.3.2	Procedimiento control Espuma.....	68
6.3.2.1	Aplicación Control Espuma.....	68
6.3.2.2	Lista de verificación de parámetros de proceso.....	69
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>
<b>9.</b>	<b>ANEXO.....</b>	<b>73</b>

<b>A.</b>	<b>ANEXO PLANTA DE CURACAVÍ</b> .....	<b>73</b>
A.1	Causas de la proliferación de Bulking filamentoso.....	73
A.2	Efectos de la proliferación del Bulking filamentoso .....	76
A.3	Análisis de datos de Potencial de Oxido-Reducción .....	77
A.4	Análisis de datos de OD .....	80
<b>B.-</b>	<b>ANEXO PLANTA PAINE</b> .....	<b>83</b>
B.1	Causas de la proliferación de Bulking filamentoso.....	83
B.2	Efectos de la proliferación del Bulking filamentoso .....	87
B.3	Análisis de datos de POR.....	88
B.4	Análisis de datos de OD .....	91
<b>C.-</b>	<b>PLANTA LOS TRAPENSES</b> .....	<b>94</b>
C.1	Causas de la proliferación del Bulking filamentoso.....	94
C.2	Efectos.....	98
C.3	Análisis de datos de POR.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1.	Definición de Grado de abundancia. ....	9
Tabla 4-1.	Indicadores Normativos y de Proceso. ....	37
Tabla 5-1	Costo de insumos antes de la aplicación Control Bulking. ....	59
Tabla 5-2	Costo de insumos después de la aplicación Control Bulking. ....	60
Tabla 5-3	Costo de insumos antes de la aplicación Control de Espuma. ....	60
Tabla 5-4	Costo de insumos después de la aplicación Control Espuma. ....	61
Tabla 6-1	Lista de verificación de parámetros de Procesos.....	65
Tabla 6-2	Lista de verificación de parámetros de Procesos.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Flóculo.....	9
Figura 1-2	Visualización de Grado de Abundancia: a grado 1, b grado 2, c grado 3, d grado 4, e grado 5 y f grado 6. ....	10
Figura 1-3	S. Natans .....	12
Figura 1-4	Tipo 1701.....	12
Figura 1-5	M. Parvicella.....	12
Figura 1-6	Nocardia spp.....	12

Figura 1-7 Beggiatoa spp.....	12
Figura 1-8 Tipo 0041.....	12
Figura 1-9 Ejemplos de los microorganismos presentes en los procesos de depuración de las aguas residuales.....	13
Figura 2-1 Layout plantas.....	16
Figura 3-1 Reactor 1 29/04/09.....	18
Figura 3-2 Espuma del reactor 1 29/04/09.....	18
Figura 3-3 Reactor 2 29/04/09.....	18
Figura 3-4 Espuma del reactor 2 29/04/09.....	18
Figura 3-5 Reactor 1 27/05/09.....	19
Figura 3-6 Espuma Reactor 1 27/05/09.....	19
Figura 3-7 Reactor 2 27/05/09.....	19
Figura 3-8 Espuma Reactor 2 27/05/09.....	19
Figura 3-9 Reactor 1 19/06/09.....	20
Figura 3-10 Espuma Reactor 1 19/06/09.....	20
Figura 3-11 Reactor 2 19/06/09.....	20
Figura 3-12 Espuma Reactor 2 19/06/09.....	20
Figura 3-13 Reactor 1 15/07/09.....	21
Figura 3-14 Espuma reactor 1 15/07/09.....	21
Figura 3-15 Reactor 2 15/07/09.....	21
Figura 3-16 Espuma reactor 2 15/07/09.....	21
Figura 3-17 Reactor 1 03/08/09.....	22
Figura 3-18 Espuma reactor 1 03/08/09.....	22
Figura 3-19 Reactor 2 03/08/09.....	22
Figura 3-20 Espuma reactor 2 03/08/09.....	22
Figura 3-21. Reactor 1 28/04/09.....	24
Figura 3-22. Espuma Reactor 1 28/04/09.....	24
Figura 3-23. Reactor 2 28/04/09.....	24
Figura 3-24. Espuma Reactor 2 28/04/09.....	24
Figura 3-25. Reactor 1 28/05/09.....	25
Figura 3-26.Espuma Reactor 1 28/05/09.....	25
Figura 3-27. Reactor 2 28/05/09.....	25
Figura 3-28. Espuma Reactor 2 28/05/09.....	25
Figura 3-29. Reactor 1 18/06/09.....	26
Figura 3-30. Espuma reactor 1 18/06/09.....	26
Figura 3-31. Reactor 2 18/06/09.....	26
Figura 3-32. Espuma reactor 2 16/06/09.....	26
Figura 3-33. Reactor 1 22/07/09.....	27
Figura 3-34. Espuma reactor 1 22/07/09.....	27
Figura 3-35. Reactor 2 22/07/09.....	27

Figura 3-36. Espuma reactor 2 22/07/09 .....	27
Figura 3-37. Reactor 1 21/08/09 .....	28
Figura 3-38. Espuma reactor 1 21/08/09 .....	28
Figura 3-39. Reactor 2 21/08/09 .....	28
Figura 3-40. Espuma reactor 2 21/08/09 .....	28
Figura 3-41. Reactor A 03/04/09 .....	30
Figura 3-42. Espuma Reactor A 03/04/09 .....	30
Figura 3-43. Reactor B 03/04/09 .....	30
Figura 3-44. Espuma Reactor B 03/04/09 .....	30
Figura 3-45. Reactor A 06/05/09 .....	31
Figura 3-46. Espuma Reactor A 06/05/09 .....	31
Figura 3-47. Reactor B 06/05/09 .....	31
Figura 3-48. Espuma Reactor B 06/05/09 .....	31
Figura 3-49. Reactor A 17/06/09 .....	32
Figura 3-50. Espuma Reactor A 17/06/09 .....	32
Figura 3-51. Reactor B 17/06/09 .....	32
Figura 3-52. Espuma Reactor B 17/06/09 .....	32
Figura 3-53. Reactor A 30/07/09 .....	33
Figura 3-54. Espuma reactor A 30/07/09.....	33
Figura 3-55. Reactor B 30/07/09 .....	33
Figura 3-56. Espuma reactor B 30/07/09.....	33
Figura 3-57. Reactor A 05/08/09. ....	34
Figura 3-58. Espuma reactor A 05/08/09.....	34
Figura 3-59. Reactor B 05/08/09. ....	34
Figura 3-60. Espuma reactor B 05/08/09.....	34
Figura 4-1. Puntos de toma de muestras semanales.....	35
Figura 4-2. Perfil Redox .....	36
Figura 4-3. Datos de Oxígeno disuelto.....	39
Figura 4-4. Potencial de óxido-Reducción.....	39
Figura 4-5. Efectos de AYG del Pre-tratamiento en el IVL.....	40
Figura 4-6. Efectos del F/M en el IVL. ....	41
Figura 4-7. Efectos de los retornos del espesador en el IVL. ....	42
Figura 4-8. Efectos de los retornos de la centrifuga en el IVL.....	43
Figura 4-9. Efectos de la temperatura. ....	44
Figura 4-10. Cloro residual. ....	45
Figura 4-11. Porcentaje de materia seca deshidratada. ....	46
Figura 5-1 Reactor1 antes de aplicación14/04/09.....	50
Figura 5-2 Espuma reactor1 antes de aplicación14/04/09.....	50
Figura 5-3 Reactor 2 antes de aplicación14/04/09.....	50

Figura 5-4 Espuma reactor2 antes de aplicación14/04/09.....	50
Figura 5-5 Reactor 1 durante aplicación 24/04/09.....	51
Figura 5-6 Espuma reactor 1 durante aplicación 24/04/09.....	51
Figura 5-7 Reactor2 durante aplicación 24/04/09.....	51
Figura 5-8 Espuma reactor 2 durante aplicación 24/04/09.....	51
Figura 5-9 Reactor 1 después de aplicación 14/05/09.....	52
Figura 5-10 Espuma reactor 1 después de aplicación 14/05/09.....	52
Figura 5-11 Reactor 2 después de aplicación 14/05/09.....	52
Figura 5-12 Espuma reactor 2 después de aplicación 14/05/09.....	52
Figura 5-13 Reactor 1 antes de aplicación 15/07/09.....	54
Figura 5-14 Espuma reactor 1 antes de aplicación 15/07/09.....	54
Figura 5-15 Reactor 2 antes de aplicación 15/07/09.....	54
Figura 5-16 Espuma reactor2 antes de aplicación 15/07/09.....	54
Figura 5-17 Reactor 1 durante aplicación 31/07/09.....	55
Figura 5-18 Espuma reactor 1 durante aplicación 31/07/09.....	55
Figura 5-19 Reactor 2 durante aplicación 31/07/09.....	55
Figura 5-20 Espuma reactor 2 durante aplicación 31/07/09.....	55
Figura 5-21 Reactor 1 después aplicación 03/08/09.....	56
Figura 5-22 Espuma reactor 1 después aplicación 03/08/09.....	56
Figura 5-23 Reactor 2 después aplicación 03/08/09.....	56
Figura 5-24 Espuma reactor 2 después aplicación 03/08/09.....	56
Figura 5-25 Imágenes antes de la aplicación de antiespumante.....	57
Figura 5-26 Imágenes después de la aplicación de antiespumante.....	58
Figura 6-1 Probeta con la muestra después de 30 minutos.....	63
Figura 6-2 Rotulo de la muestra.....	63
Figura 6-3 Espuma superficial Los Trapenses.....	66
Figura 6-4 Espuma superficial Curacaví.....	66
Figura 6-5 Espuma superficial en el efluente.....	67
Figura 6-6 Rotulo de la muestra.....	67
Figura 9-1. Efectos de AYG del Pre-tratamiento en el IVL.....	74
Figura 9-2. Efectos del F/M en el IVL.....	74
Figura 9-3. Efectos de los retornos del espesador en el IVL.....	75
Figura 9-4. Efectos de los retornos de la centrifuga en el IVL.....	75
Figura 9-5. Cloro residual.....	76
Figura 9-6. %MS Deshidratada.....	77
Figura 9-7. Medición POR Abril.....	78
Figura 9-8. Medición de POR Mayo.....	78
Figura 9-9. Medición de POR mes de Junio.....	79
Figura 9-10. Medición de POR mes de Julio.....	79

Figura 9-11. Medición de POR mes de Agosto .....	80
Figura 9-12. Datos del mes de Abril de OD .....	81
Figura 9-13. Datos del mes de Mayo de OD .....	81
Figura 9-14. Datos del mes de Junio de OD .....	82
Figura 9-15. Datos del mes de Julio de OD .....	82
Figura 9-16. Datos del mes de Agosto de OD .....	83
Figura 9-17. Efectos de AYG de Pre-tratamiento en el IVL .....	84
Figura 9-18. Efectos del FM en el IVL .....	85
Figura 9-19. Efectos de los retornos del espesador en el IVL .....	85
Figura 9-20. Efectos de los retornos de la centrifuga en el IVL .....	86
Figura 9-21. Efectos de la temperatura en el IVL .....	86
Figura 9-22. Cloro residual .....	87
Figura 9-23. %MS Deshidratada .....	88
Figura 9-24. Medición POR Abril .....	89
Figura 9-25. Medición POR Mayo .....	89
Figura 9-26. Medición POR Junio .....	90
Figura 9-27. Medición POR Julio .....	90
Figura 9-28. Medición POR Agosto .....	91
Figura 9-29. Datos mes de Abril de OD .....	92
Figura 9-30. Datos mes de Mayo de OD .....	92
Figura 9-31. Datos mes Junio de OD .....	93
Figura 9-32. Datos mes Julio de OD .....	93
Figura 9-33. Datos mes Agosto de OD .....	94
Figura 9-34. Efectos de AYG de Pre-tratamiento en el IVL .....	95
Figura 9-35. Efectos del FM en el IVL .....	96
Figura 9-36. Efectos de los retornos del espesador en el IVL .....	96
Figura 9-37. Efectos de los retornos de la centrifuga en el IVL .....	97
Figura 9-38. Cloro residual .....	98
Figura 9-39. %MS Deshidratada .....	99
Figura 9-40. Medición POR Abril .....	100
Figura 9-41. Medición POR Mayo .....	101
Figura 9-42. Medición POR Junio .....	101
Figura 9-43. Medición POR Julio .....	102
Figura 9-44. Medición POR Agosto .....	102



## RESUMEN

Se realizó un conjunto de documentación fotográfica y de observaciones microscópicas del lodo activado, de manera de determinar y controlar las principales variables de proceso que favorecen la proliferación del Bulking filamentoso en plantas de aguas servidas de lodos activados con aireación extendida, considerando de forma exclusiva la estacionalidad de otoño e invierno, estableciendo una adecuada correspondencia entre los diversos parámetros de proceso que explican la existencia y los efectos del fenómeno. Por lo anterior, se definió una serie de puntos de muestreo y analíticas físicas, químicas y microbiológicas que permitieron corroborar la observación microscópica y los datos de control de proceso referidos a sensores u otras mediciones relacionadas al tratamiento biológico.

Las plantas de localidades estudiadas fueron tres: Paine, Curacaví y Los Trapenses.

Se identificaron las principales variables de proceso que favorecen la proliferación del Bulking Filamentoso. Las causas de la proliferación de bacterias filamentosas y mala sedimentabilidad del lodo son: los aumentos de aceites y grasas provenientes del pre-tratamiento, déficit de oxígeno, déficit de F/M, malos retornos de centrífuga y espesador y bajas temperaturas. Los efectos de una mala sedimentabilidad en el proceso son: consumo de Hipoclorito en la desinfección y disminución del porcentaje de materia seca de lodo deshidratado.

Se realizaron exitosas experiencias para eliminar el Bulking y la Espuma. Además análisis de costos de control Bulking y de espuma a partir de las experiencias y evoluciones realizadas. Para el control Bulking los costos de insumos disminuyeron 222 US y la sequedad del lodo aumentó 0,4%, ahorrando en deshidratación 3,66 US/m<sup>3</sup> de lodo, mientras que para el Control de espuma los costos de insumos disminuyeron en 83,9 US y la sequedad del lodo aumentó 3,53%, ahorrando en deshidratación 43,96 US/m<sup>3</sup> de lodo.

A partir de las experiencias realizadas de Control Bulking y Control de Espuma, se definieron protocolos de control de fenómenos aplicables a todas las plantas de localidades de aguas servidas de lodos activados con aireación extendida de la Subgerencia de Depuración de Aguas Andinas S.A.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Afluente:** Aguas servidas que llega a la entrada de la planta.

**ANAM:** Laboratorios de análisis ambientales.

**AYG:** Aceites y grasas.

**Bulking filamentoso:** Alta presencia de microorganismos filamentosos, la cual forma una malla que impide una correcta separación de las fases sólida y líquida.

**Bacterias:** organismo unicelular, que en el interior contienen una suspensión de proteínas y carbohidratos, llamado citoplasma.

**Cámara de contacto:** Cámara donde se aplica el tratamiento terciario. En la cámara el tratamiento terciario es por desinfección, donde se aplica hipoclorito de sodio para desinfectar el efluente. El contacto del agua con el hipoclorito de sodio es de a lo menos 30 minutos en la cámara de contacto.

**Cloro residual:** Es el cloro presente en la cámara de contacto una vez realizada la aplicación para desinfección.

**DBO:** Demanda bioquímica de oxígeno. Es la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismo para degradar u oxidar la materia orgánica presente bajo condiciones aeróbicas.

**Desnitrificación:** Proceso biológico mediante el cual el nitrato se convierte en nitrógeno gas y en otros productos gaseosos.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno. Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica e inorgánica contenida en el agua después de corregir la influencia de los cloruros. Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica a partir de un oxidante químico fuerte.

**Edad del lodo:** Edad aproximada del lodo en el reactor. Tiempo de retención celular en el reactor.

$$Edadlodo = \frac{V_{reactor}}{Q_{purga}} (día)$$

**Efluente:** Descarga de una planta de tratamiento hacia un cuerpo receptor.

**F/M:** Es la relación de alimento por microorganismo.

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \cdot DBO}{SSV \cdot V}$$

**IVL:** es el volumen ocupado por un gramo de lodo después de 30 minutos de decantación. Mientras menor sea este valor mejor será la sedimentabilidad. Para una mejor sedimentabilidad el valor debe ser menor a 150 ml/g. El  $V_{30}$  es el volumen ocupado el lodo después de 30 minutos de decantación.

$$IVL = \frac{V_{30}}{SST} \left( \frac{ml}{g} \right)$$

**IVL 50%:** Se mide de la misma forma que el IVL con la diferencia de que se toma una muestra de licor mixto de 500 ml y se diluye en agua tratada hasta completar un litro. Este se realiza para corroborar el IVL y descartar los efectos de la concentración de sólidos.

$$IVL_{50\%} = \frac{V_{50\%}}{SST} \left( \frac{ml}{g} \right)$$

**Lodo mixto o mezcla:** Masa activa de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

**%MS deshidratada:** Porcentaje de materia seca de lodo deshidratado (a la salida de la centrífuga).

**Nitrificación:** Proceso químico mediante el cual el amoníaco se transforma primero en nitrito y luego en nitrato.

**Nutrientes:** En el caso de aguas servidas son: nitrógeno, carbono y fósforo, esenciales para el crecimiento microbiológico.

**OD:** Oxígeno disuelto en los reactores (mg/L).

**POR:** Potencial de oxido-reducción (Eh mv).

**Protozoos:** organismo unicelulares, de tamaño mayor que las bacterias y se alimentan de estas.

**PTAS:** Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.

**SBR:** Reactor biológico secuencial.

**SCADA:** registro de datos y control de supervisión. Software que provee de toda la información que se genera en el proceso productivo

**SST:** Sólidos que permanecen en suspensión en el agua servida y se determina como la cantidad de material retenido después de la filtración de una muestra y su consecutivo secado en estufa a 105°C.

**SSV:** Representa la fracción de sólidos suspendidos que se volatilizan a 550° C. Se obtiene después de la filtración de una muestra, donde los sólidos quedan en el papel filtro, siendo secado en estufa a 105°C (sólidos suspendidos), luego esta muestra se introduce al horno a 550°C y por diferencia se obtienen los sólidos suspendidos volátiles.

**Turbiedad:** Parámetro que indica la calidad del agua. Indica la cantidad de partículas suspendidas en el agua. Esta se mide en NTU (Unidades de Turbidez Nefelométrica)

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Introducción General

En las plantas de tratamiento de aguas servidas es crucial en el decantador secundario una correcta separación de la biomasa activa del agua tratada, con el fin de obtener un efluente de buena calidad. Para que la separación sea efectiva es necesario que los microorganismos se agreguen en flóculos compactos, para lo cual los microorganismos filamentosos funcionan como una red a la que quedan fijos los microorganismos floculantes, formando flóculos que decantan con facilidad. Sin embargo, la presencia excesiva de microorganismos filamentosos, impide una correcta separación de las fases sólidas y líquidas, siendo este proceso conocido como “Bulking” filamentoso (abultamiento, esponjamiento).

Las principales causas de la aparición de Bulking Filamentoso son: Baja relación entre la carga orgánica del agua residual y biomasa de los reactores (F/M), baja concentración de oxígeno, presencia de sulfuros, deficiencia de nutrientes, bajos pH y altas concentraciones de Aceites y grasas, etc.

Los principales efectos de la proliferación de microorganismos filamentosos son, una menor compactación del lodo mixto, la aparición de espuma superficial, mayor consumo de oxígeno, menor tasa de captura con el consecuente deterioro de la calidad del efluente.

Hoy en día el Bulking filamentoso es uno de los mayores problemas de las plantas de tratamiento biológico mediante lodos activados. En base a lo anteriormente expuesto, en este estudio se buscará determinar las principales variables de proceso que favorecen la proliferación de Bulking filamentoso en tratamiento biológico de aguas servidas mediante lodos activados con aireación extendida, en las plantas de Curacaví, Paine y Los Trapenses, las cuales pertenecen a la Subgerencia de Depuración de la empresa Aguas Andinas S.A.

## 1.2 Marco teórico

La procedencia de aguas servidas son principalmente aguas domésticas o urbanas, aguas residuales industriales, aguas de Usos agrícolas y aguas pluviales; aunque la mayor parte de las aguas servidas (cerca del 90%) proviene del Uso doméstico o urbano.

Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías:

*Contaminantes Químicos:* se componen tanto por productos químicos orgánicos como inorgánicos.

*Parámetros Físicos:* entre estos están los cambios térmicos, el color, el grado de turbidez, espuma, detergentes y la radiactividad.

*Contaminantes Biológicos:* estos son responsables de transmisiones de las enfermedades como el cólera, hepatitis y la tifoidea.

### 1.2.1 Método de tratamientos de Aguas servidas

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y biológicos. El método de tratamiento en donde predomina la aplicación de procesos físicos se conoce como tratamiento primario. El método de tratamiento de eliminación de contaminantes se efectúa por actividad química o biológica es llamado tratamiento secundario. El tratamiento terciario elimina contaminantes que no han sido afectados por los tratamientos antes mencionados, principalmente patógenos<sup>1</sup>.

#### 1.2.1.1 Tratamiento Primario

Método de tratamiento donde se separa los sólidos, arenas y aceites y grasas, ya que estas materias inhibirían el proceso biológico y posiblemente dañarían el resto de los equipos mecánicamente. Este tratamiento es sólo físico, es decir, homogenización de caudales, separación mediante rejas y separación de arenas.

---

<sup>1</sup> "Ingeniería de Aguas Residuales", Metcalf & Eddy, INC., Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill. 2001. páginas 223 a 244.

### 1.2.1.2 Tratamiento Secundario

Es un tratamiento biológico. Su principal objetivo es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua residual en forma tanto coloidal como en disolución. Estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación.

**Lodos Activados**, es un tipo de tratamiento secundario donde el agua residual se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas, este ambiente se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores. Al contenido del reactor se le llama licor mezcla. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido a un estanque clarificador y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor y la masa sobrante eliminada o purgada.

### 1.2.1.3 Tratamiento Terciario

Proceso destinado a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario. Los objetivos de tales procesos son: Desinfección, reducción de la DBO, reducción de fósforo y nitrógeno, etc.

## 1.2.2 Potencial Oxido-Reducción (POR)

El potencial redox (EH, electrodo de hidrógeno), se usa principalmente como un indicador en el diagnóstico del proceso y como un parámetro de control de proceso.

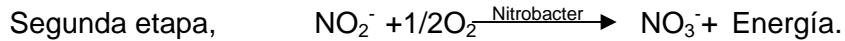
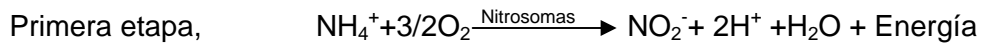
En el reactor biológico ocurren una serie de reacciones de oxidación y reducción, donde una parte del lodo se oxida a compuestos de bajo contenido energético y el resto es sintetizado en materia celular.

### 1.2.2.1 La Nitrificación

Conjunto de reacciones químicas del metabolismo de bacterias particulares que permite transformar el amoníaco ( $\text{NH}_4^+$  o  $\text{NH}_3$ ) en su forma oxidada como nitrato  $\text{NO}_3^-$  por acción de las bacterias.



La nitrificación del nitrógeno amoniacal es un proceso que se realiza en dos etapas, en la que toman parte dos familias de microorganismos, los Nitrosomas y los Nitrobacter. En la primera etapa, el amonio se convierte a nitrito; en la segunda, el nitrito se convierte a nitrato.



Los Nitrosomas y los Nitrobacter utilizan la energía desprendida en estas reacciones para el crecimiento y mantenimiento celular.

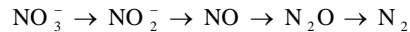
### 1.2.2.2 La Desnitrificación

Conjunto de reacciones químicas del metabolismo de bacterias que permite transformar el nitrato en nitrógeno gaseoso (N<sub>2</sub>).



La conversión del nitrato en nitrógeno se lleva a cabo gracias a la acción de diversos géneros de bacterias, estas bacterias (heterótrofas) son capaces de la reducción del nitrato, que es un proceso de dos etapas. El primer paso consiste en la conversión de nitrato en nitrito, y a continuación se producen óxido nitroso y nitrógeno gas.

El proceso de reducción del nitrógeno es el siguiente:



### 1.2.3 Microscopía de los lodos

Es importante consignar que la microscopía de lodos activados persigue dos grandes objetivos de identificación. Uno de ellos, es la caracterización de los denominados “flóculos”, figura 1-1. Los flóculos están compuestos por bacterias filamentosas, que es la parte estructural, donde forman una red donde quedan fijos los microorganismos floculantes, generando flóculos que decantan con facilidad, lo cual permite la separación de todo tipo de material sólido, generando un líquido cristalino (comúnmente llamado clarificado), prácticamente libre de sólidos suspendidos.



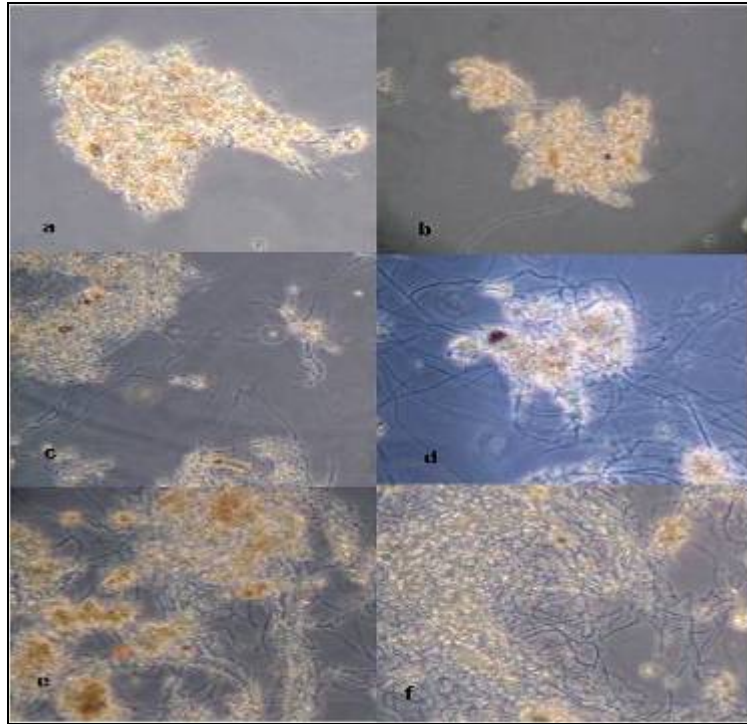


**Figura 1-1 Flóculo.**

La caracterización del flóculo permite determinar grados de abundancia de los distintos componentes del flóculo, como también de sus características de tamaño, forma y dispersión, todo lo cual revela el “estado de salud” de la biomasa. El grado de abundancia se define debido a la cantidad de filamentos que hay en el flóculo, cuando el grado de abundancia es superior a 3 indica la existencia de bulking filamentoso. Este se clasifica de la manera mostrada en la tabla 1-1 y en la figura 1-2 se visualiza:

Grado	Definición	Como afecta a la sedimentación
Grado 0	No existen filamentos en los flóculos	No afecta
Grado 1	Filamentos ocasionales	No afecta
Grado 2	Frecuentes pero no en todos los flóculos	No afecta
Grado 3	Filamentos en todos los flóculos, no mas de 5 por floculos.	No afecta, a menos que haya dispersión y/o puentes
Grado 4	6 a 20 filamentos por flóculo	Si la afecta
Grado 5	Más de 20 filamentos por flóculo	Si la afecta
Grado 6	Más filamentos que flóculos inclusive creciendo solos en el líquido circundante	Si la afecta

**Tabla 1-1. Definición de Grado de abundancia.**



**Figura 1-2 Visualización de Grado de Abundancia: a grado 1, b grado 2, c grado 3, d grado 4, e grado 5 y f grado 6.**

Por otra parte, el segundo objetivo es la determinación de la presencia de bacterias filamentosas, especificando su grado de abundancia, el tipo que predomina en la población, y por ende la variable operacional causante de problemas, como las más adecuadas metodologías de control y prevención. Es importante mencionar que ante situaciones de déficit de oxígeno o nutrientes, las bacterias filamentosas suelen verse favorecidas, ya que si bien su presencia en los flóculos es parte de la estructura del mismo, ante una situación de carencia de algunos de los componentes mencionados, sus largos filamentos, y por ende su gran superficie (en comparación con los otros microorganismos) le permite captar de forma preferencial el componente que es necesario para el metabolismo y que se encuentra en carencia.

A continuación se mencionan las disfunciones más comunes, y sus respectivas correlaciones con observaciones microscópicas.

**Déficit de oxígeno:** Desde el punto de vista microbiano, suele ser identificado mediante la ausencia de ciertos microorganismos que en condiciones de operación normal son

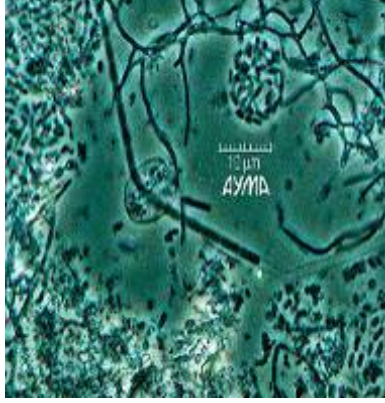

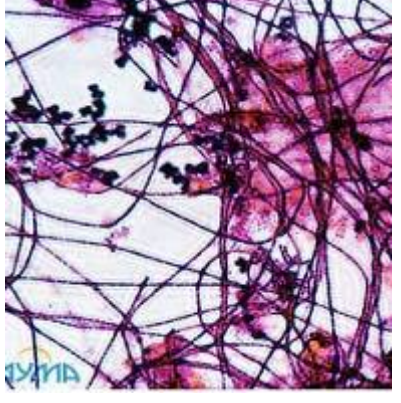
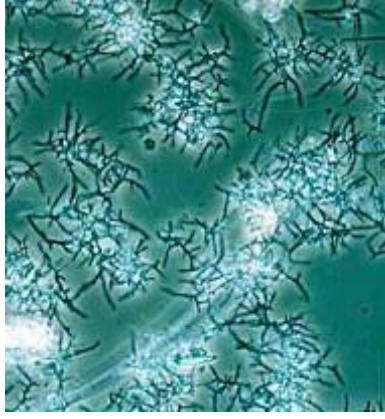
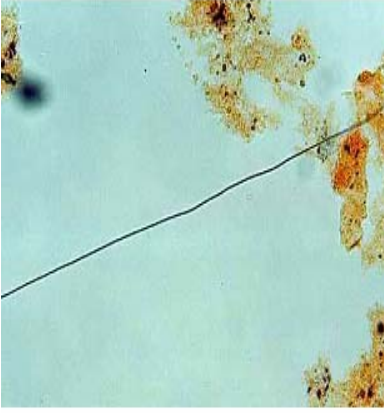
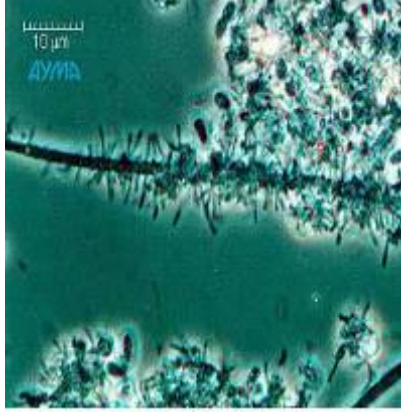
fácilmente identificables debido a su gran abundancia, como también por la presencia de determinados tipos de bacterias filamentosas. Entre las observaciones microscópicas, tenemos las siguientes: **Bacterias filamentosas del tipo S. natans**, figura 1-3, la cual es relativamente larga, delgada, recta o débilmente curvada, compuesta de células redondeadas, y con una delgada vaina que recubre el filamento. No presenta ramificaciones y cuando existen son falsas. **Bacterias filamentosas 1701**, figura 1-4, la cual esta constituida por individuos de longitud variable, inmóviles, y a veces ligeramente curvados. Presentan un abundante crecimiento epifítico que dificulta la observación de las células. **Bacterias filamentosas M. Parvicella**, figura 1-5, la cual esta constituida por filamentos largos y finos, que crecen atravesando la estructura de los flóculos. No presentan ramificaciones.

**Baja relación F/M:** La relación F/M es un cuociente entre el alimento (food) y la población de microorganismos (Microorganism). En las plantas a estudiar el F/M está en el rango de 0,05 y 0,15. Entre las observaciones microscópicas más comunes, tenemos: **M. Parvicella**, figura 1-5, **Nocardia spp**, figura 1-6: bacteria constituida por filamentos cortos, irregularmente formados y muy ramificados, **Bacteria filamentosa tipo 0041** figura 1-8: la cual es un Filamento recto o ligeramente curvado de grandes dimensiones. Puede presentar abundante crecimiento epifítico que dificulta la observación de SUS células con forma rectangular o cuadradas.

**Retornos Sépticos:** Se debe a malos retornos provenientes de la línea de lodo donde vuelven con altos valores de sólidos, con altos tiempo de retención hidráulica y con mala aireación produciéndose una acentuada septicidad. Entre las observación microscópica más común, tenemos la siguiente: **Beggiatoa Sp.**, figura 1-7, la cual es una bacteria filamentosa constituida por filamentos rectos, activamente móviles por deslizamiento. Habitualmente presentan acumulaciones de azufre, en forma de gránulos esféricos.

**Excesos de Aceite y grasas:** Las películas oleosas, por poseer una densidad menor a la del licor mixto, se instalan en su superficie, generando condiciones sépticas, ante las cuales, y por la ya expuesta ventaja competitiva de las bacterias filamentosas debido a su mayor área específica, favorecen la proliferación de bacterias que sin poseer largos filamentos, son capaces de generar espumas cuya consistencia puede variar desde

delgadas capas, hasta grosores de varios centímetros, instalándose en la superficie de los clarificadores secundarios y espesadores de lodo, enturbiando los retornos y el efluente biológico, lo cual obviamente incide en todas las operaciones unitarias posteriores, entre ellas particularmente la desinfección. Entre las observaciones microscópicas más comunes, tenemos las siguientes: **M. Parvicella**, figura 1-5, y **Nocardia spp.**, figura 1-6.

		
<p><b>Figura 1-3 S. Natans</b></p>	<p><b>Figura 1-4 Tipo 1701</b></p>	<p><b>Figura 1-5 M. Parvicella</b></p>
		
<p><b>Figura 1-6 Nocardia spp.</b></p>	<p><b>Figura 1-7 Beggiatoa spp.</b></p>	<p><b>Figura 1-8 Tipo 0041</b></p>

## Protozoos y Amebas

Son los microorganismos responsables del tratamiento y la descontaminación del agua, por lo cual son de vital importancia, para el buen funcionamiento del sistema, proporcionarles las condiciones óptimas para su desarrollo, puesto que se trata de organismos vivos que deben crecer y reproducirse. Cualquier alteración en su ecosistema, producto de la mala operación de la planta, puede provocar su muerte y eliminación dentro del sistema, lo que va en perjuicio del tratamiento.

Debido a que los microorganismos crecen y se multiplican en suspensión, la biomasa celular en exceso se va acumulando gradualmente, quedando en el agua contenida en el estanque del reactor. Este material en suspensión debe separarse del agua tratada y ser sometido a una etapa de deshidratación e higienización. A este desecho del proceso de tratamiento se le denomina lodo biológico, fango o biosólidos.

En la figura 1-9, se muestran algunos organismos presentes en la depuración de las aguas servidas.

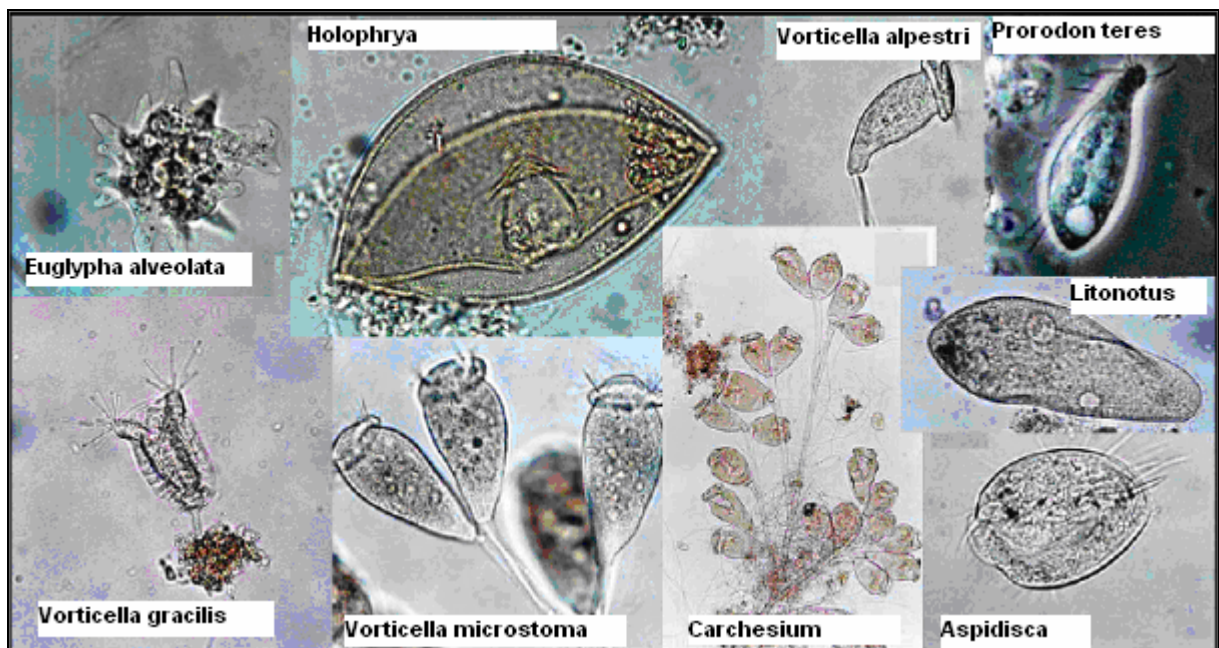


Figura 1-9 Ejemplos de los microorganismos presentes en los procesos de depuración de las aguas residuales.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo**

Determinación y control de las principales variables de proceso que favorecen la proliferación del Bulking filamentoso en la planta de aguas servidas de lodos activados con aireación extendida, considerando de forma exclusiva la estacionalidad de otoño e invierno.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Establecer la adecuada correspondencia entre observación microscópica y los diversos parámetros de proceso y calidad de efluente que reflejan la existencia y gravedad del fenómeno de Bulking filamentoso, mediante el uso de la información de analíticas: químicas, físicas y microbiológicas que se realizan como parte del autocontrol, tanto normativo como de control de procesos.
- Establecer la adecuada correspondencia entre observación microscópica y los diversos parámetros de proceso que justifican la existencia y gravedad del fenómeno de Bulking filamentoso, mediante el uso de bibliografía.
- Identificar las causas y efectos de la proliferación de Bulking filamentoso en las plantas a estudiar.
- Establecer procedimiento para el control de Bulking filamentoso y de espuma en las plantas a estudiar, a partir de experiencias realizadas en el trabajo de esta investigación.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LAS PLANTAS

Las unidades operativas que contemplan el sistema de las plantas de tratamiento de aguas servidas de Aguas Andinas S.A.<sup>2</sup> a estudiar, corresponden a los siguientes procesos y se ilustra en la figura 2-1:

### **Planta elevadora de aguas servidas**

Lugar donde convergen las aguas servidas. Aquí se encuentran dos sistemas de retención de sólidos, una reja gruesa (permite el paso de 50mm) y un canastillo de acero inoxidable (permite el paso de 45mm).

### **Pretratamiento**

El pretratamiento se realiza en una única unidad del tipo compacta llamado Huber. El Huber esta constituido por un desbaste fino, un desarenador y desgrasador. Los sólidos finos son retirados por un tamiz rotatorio de 6 mm de separación y transportados a un contenedor de sólidos primarios. Las arenas debido a su peso sedimentan, se utiliza un tornillo horizontal sin fin que funciona en contra flujo y transporta las arenas a un segundo tornillo vertical que retira las arenas a un contenedor. Las grasas tienen un sistema de inyección de aire el cual separa las grasas, las cuales son acumuladas en sentido opuesto a la ubicación de difusores, donde las grasas flotantes son arrastradas por una paleta hasta una bomba que la succiona y las deposita en el tornillo que retira los sólidos finos.

### **Tratamiento secundario**

Tratamiento biológico que se lleva a cabo mediante el proceso de lodos activados en baja carga. Tiene dos reactores en donde se desarrollan secuencialmente las tres fases de proceso; aireación, agitación, sedimentación y descarga del efluente clarificado.

---

<sup>2</sup> La descripción de equipos y tratamientos fueron obtenidos "Manual de plantas Aguas Andinas S.A."

## Desinfección

La desinfección del efluente tratado proveniente de los SBR se realiza mediante la aplicación de hipoclorito de sodio, con el objetivo de remover elementos patógenos. El contacto del agua con el hipoclorito de sodio es de a lo menos 30 minutos en la cámara de contacto.

## Tratamiento de lodos

Aquí se lleva a cabo el manejo de los lodos generados en exceso en el sistema SBR. Los equipos asociados a esta operación son:

Espeador: Sedimentador gravitacional, que concentra los lodos.

Acumulador: Almacenamiento de lodos, es un estanque aireado.

Deshidratación: Centrifugación y encalado (aplicación de cal a los lodos para inhibir las bacterias) de lodo para su posterior disposición en vertederos.

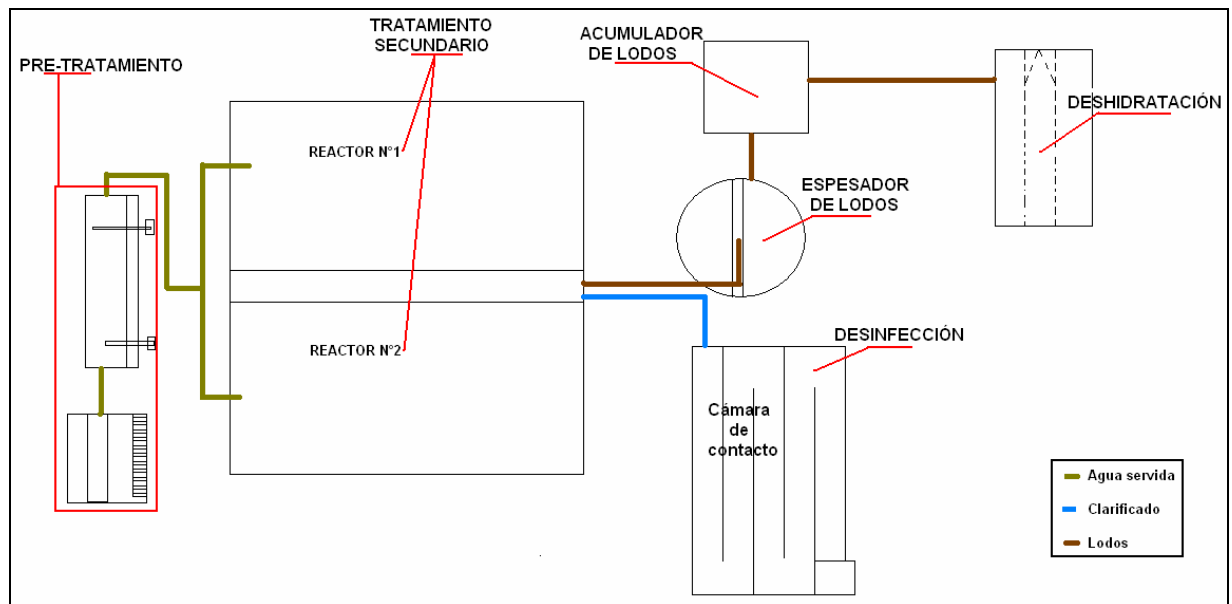


Figura 2-1 Layout plantas.



### 3. ANÁLISIS DE MICROSCOPIA DE LAS PLANTAS ESTUDIADAS

Se utilizó la identificación microscópica como método de control de proceso, para establecer una adecuada correspondencia con la variable operacional que causa el fenómeno, ya sea Bulking Filamentoso o espuma, y también para prevenir su futura aparición. Para esto se tomaron muestras de licor mixto y espuma en cada reactor una vez por semana en las plantas estudiadas, analizando en el microscopio: grado de abundancia, protozoos y amebas y filamentosas. En la tabla 1-1 y figura 1-2 (capítulo 1) se definieron y visualizaron los grados de abundancia, si éste es superior a 3 indica Bulking filamentoso y por ende una mala sedimentación en el reactor.

#### 3.2 Planta Curacaví

En los análisis de microscopia realizados de lodo mixto y espuma a partir del mes de Abril hasta el mes de Agosto, se observa presencia de bacterias filamentosas *M. Parvicella*, largas y delgadas sin adherencias; bacterias filamentosas del tipo 0041 o 1701; bacterias filamentosas largas y delgadas con adherencias y bacterias filamentosas *Nocardia* sp. de forma irregular. A partir de esto, y de la bibliografía disponible<sup>3</sup>, se puede comentar lo siguiente:

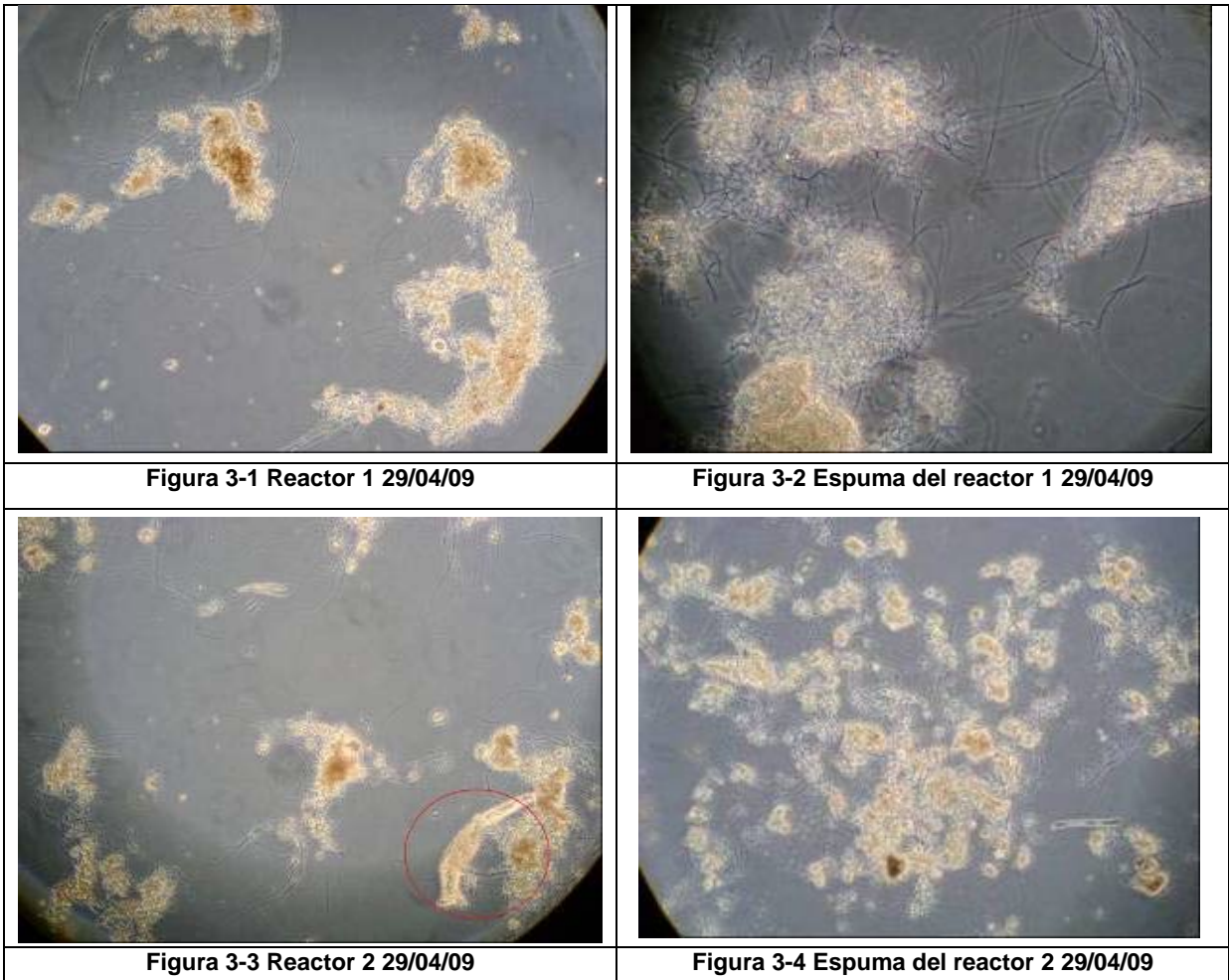
- La bacteria filamentosa del tipo 1701 que se produce por déficit de oxígeno, lo cual ha sido corroborado mediante medición de POR.
- La presencia de filamentosas *M. Parvicella*, bacterias del tipo 0041 y bacterias filamentosas *Nocardia* sp. se produce por baja relación de F/M.
- La presencia de *M. Parvicella* se produce por exceso de grasas y aceites.
- La presencia de *Nocardia* sp. se produce por alto tiempo de retención hidráulico, presencia de grasas y aceites a temperaturas moderadas.
- La presencia de *M. Parvicella* y *Nocardia* sp. promueve la producción de espuma en este reactor.

A continuación se observa lo analizado en el microscopio a partir del mes de Abril hasta el mes de Agosto.

---

<sup>3</sup> Ingeniería de aguas residuales, Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill, Metcalf & Eddy, 2001, Páginas 420-432

Fecha de análisis:	29/04/09
Grado de abundancia reactor 1	: 2
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 2
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



**Análisis de Protozoos y amebas**

Reactor 1: se observa alta presencia flagelados, ciliados Vorticella Alpestris, Prorodon teres, nematodo y rotíferos.

Espuma del reactor 1: no se observa ameba y protozoos.

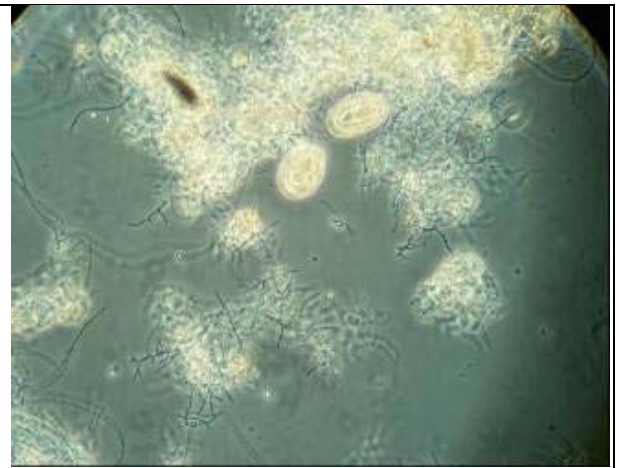
Reactor 2: se observa una alta presencia de flagelados, vorticella alpestris y rotíferos.

Espuma del reactor 2: solo se observa nematodo

Fecha de análisis:	27/05/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



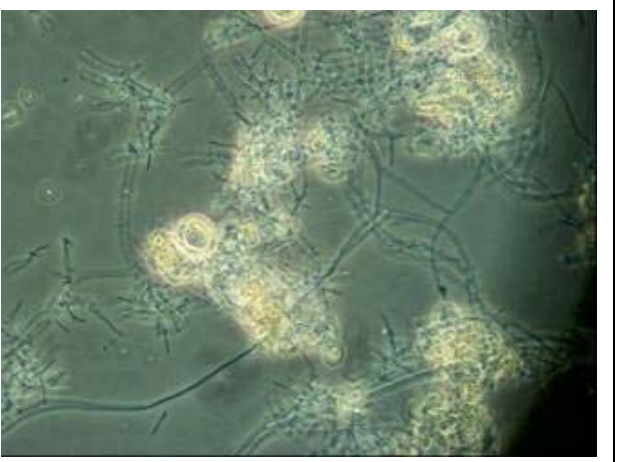
**Figura 3-5 Reactor 1 27/05/09**



**Figura 3-6 Espuma Reactor 1 27/05/09**



**Figura 3-7 Reactor 2 27/05/09**



**Figura 3-8 Espuma Reactor 2 27/05/09**

**Análisis de protozoos y amebas**

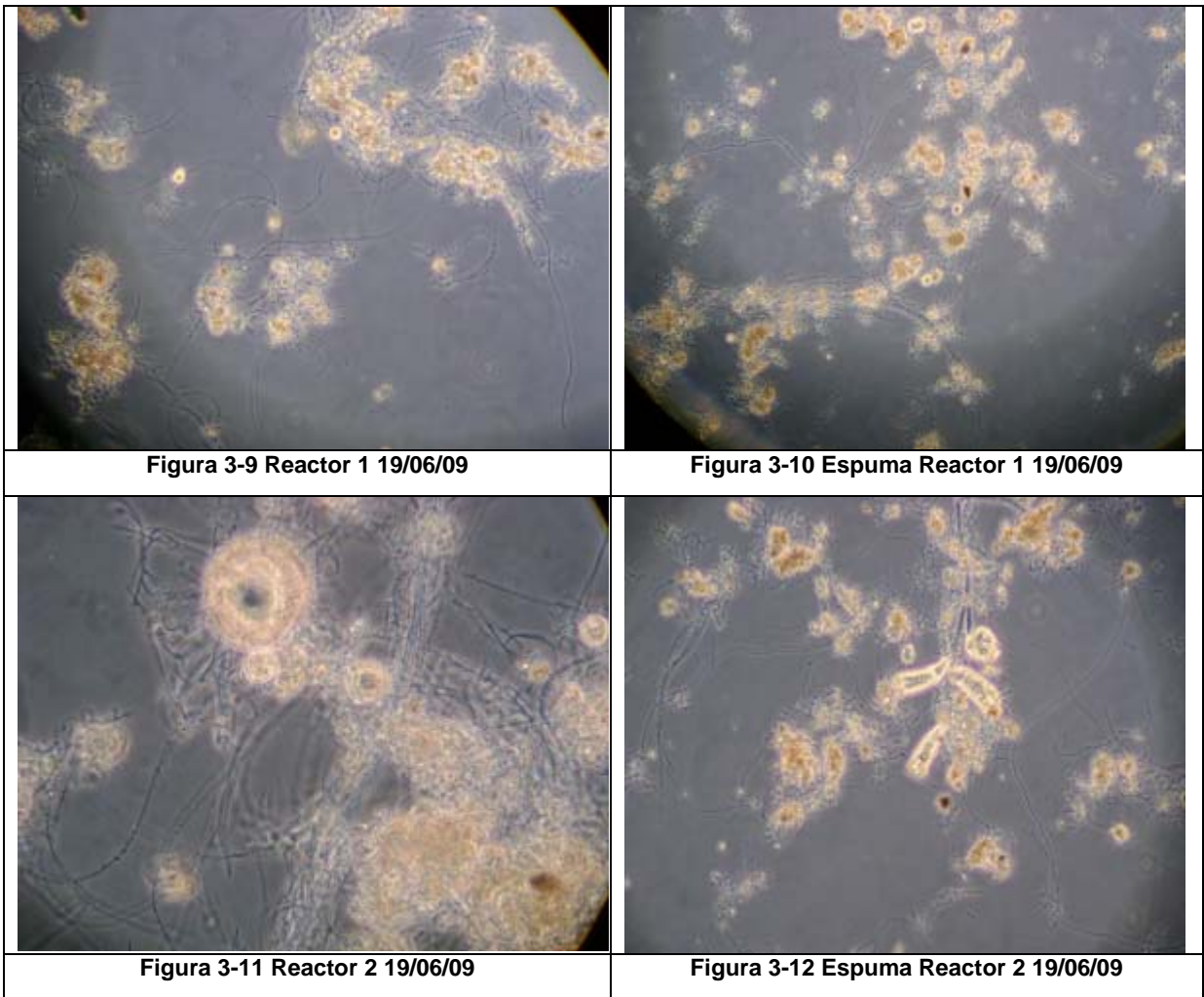
Reactor 1: solo se observa Nematodos.

Espuma del reactor 1: solo se observa ciliado *Oxytricha* sp.

Reactor 2: se observa flagelados y ciliado *Oxytricha* sp.

Espuma del reactor 2: no se observa protozoos y amebas.

Fecha de análisis:	19/06/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



**Análisis de protozoos y amebas**

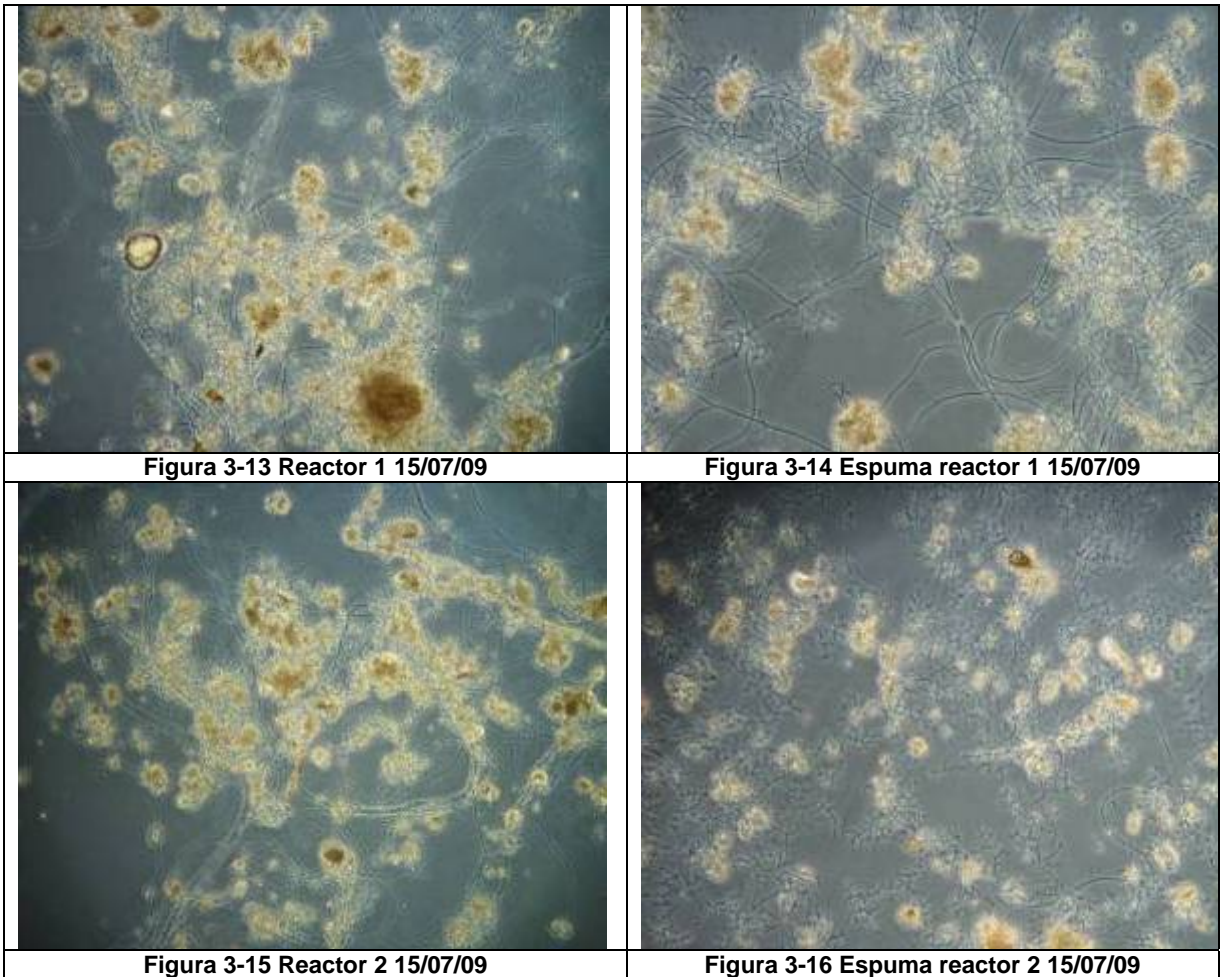
Reactor 1: se observa flagelados y ciliados *Litonotus* sp.

Espuma del reactor 1: no se observa protozoos y amebas.

Reactor 2: se observa alta cantidad ciliados *Litonotus* sp. *Carchesium*, *Litonotus*, *Holophrya*.

Espuma del reactor 2: se observa ciliados *Litonotus* sp. *Carchesium*, *Litonotus*.

Fecha de análisis:	15/07/09
Grado de abundancia reactor 1	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



**Análisis de protozoos y amebas**

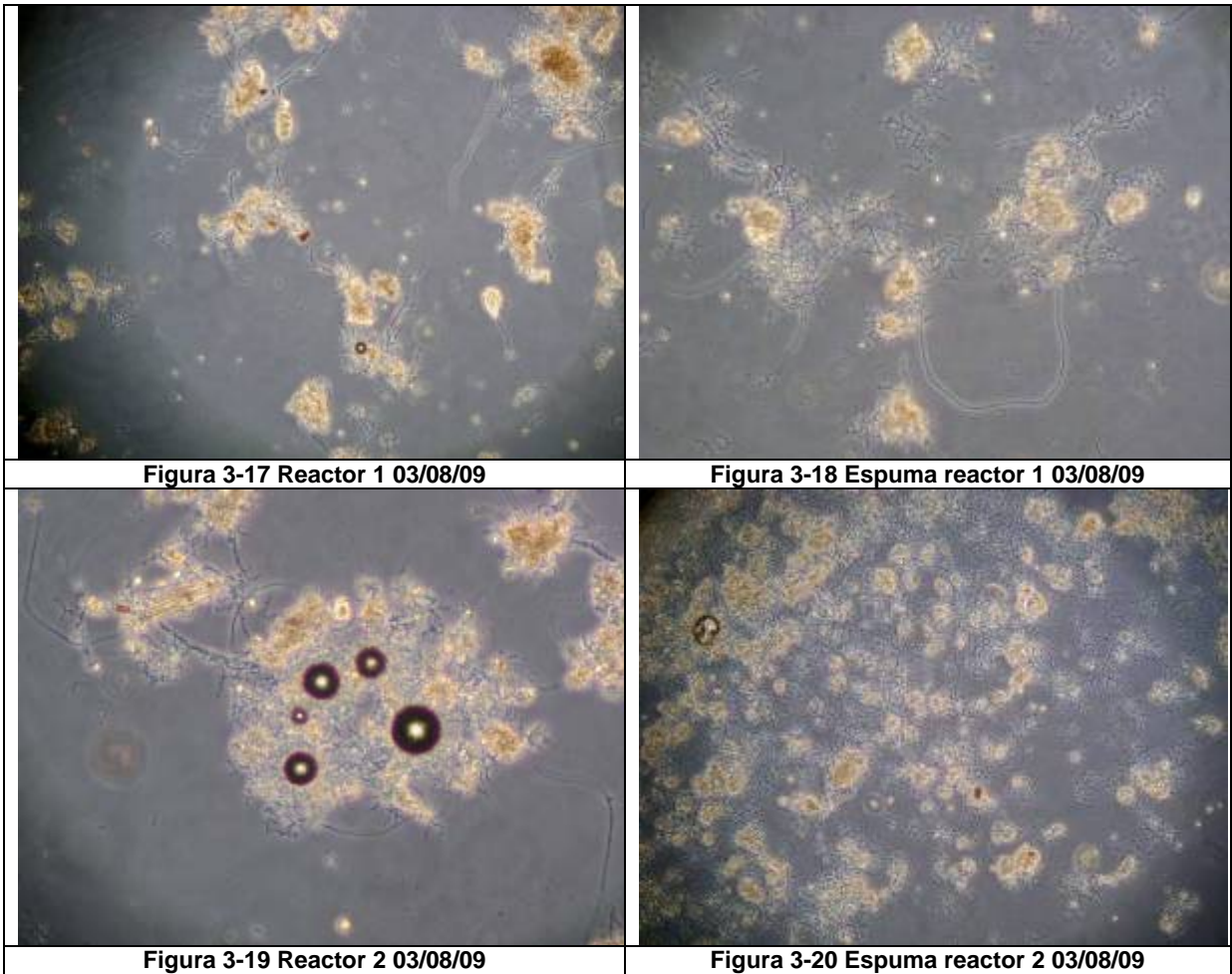
Reactor 1: se observa alta ciliados *Vorticella alpestris*, *Aspidisca* y rotíferos.

Espuma del reactor 1: se observa ciliados *Litonotus* sp y *Vorticella alpestris*.

Reactor 2: se observa ciliados *Vorticella alpestris*, *Aspidisca*, *Litonotus*.

Espuma del reactor 2: no se observan protozoos y amebas.

Fecha de análisis:	03/08/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



**Análisis de protozoos y amebas**

Reactor 1: se observa ciliados *Vorticella alpestris*, *Litonotus* sp. y rotíferos.

Espuma del reactor 1: se observa solo *Vorticella alpestris*

Reactor 2: se observa ciliados *Vorticella alpestris* y rotíferos.

Espuma del reactor 2: no se observan protozoos y amebas.

### 3.3 PLANTA PAINE

En los análisis de microscopia realizados de lodo mixto y espuma a partir del mes de Abril hasta el mes de Agosto, se observa presencia de bacterias filamentosas M. Parvicella, largas y delgadas sin adherencias y alta presencia de bacterias con epifítico que pueden ser bacterias 1701 o tipo 0041. A partir de esto, y de la bibliografía disponible<sup>3</sup>, se puede comentar lo siguiente:

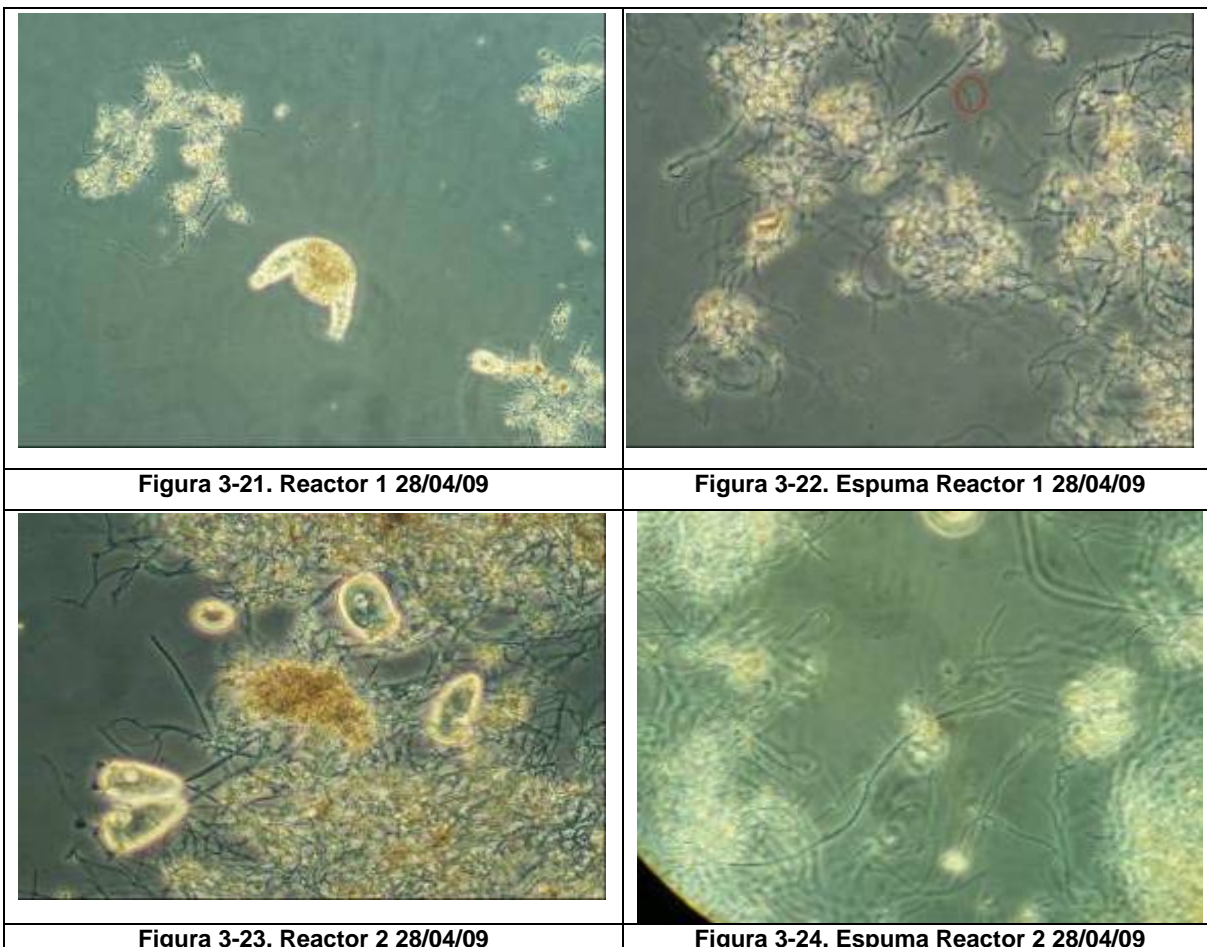
- La presencia de filamentosas del tipo 1701 se produce por déficit de oxígeno, lo cual ha sido corroborado mediante medición de POR.
- La presencia de filamentosas M. Parvicella y bacterias del tipo 0041 se produce por baja relación de F/M.
- La presencia de M. Parvicella se produce por exceso de grasas y aceites, la que a su vez produce la espuma presente en los reactores.

A continuación se observa lo analizado en el microscopio a partir del mes de Abril hasta el mes de Agosto.

---

<sup>3</sup> Ingeniería de aguas residuales, Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill, Metcalf & Eddy, 2001, Páginas 420-432

Fecha de análisis:	28/04/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



#### Análisis de protozoos y amebas

Reactor 1: se observa alta presencia de ciliados *Carchesium* sp, vorticela *alpestri* y rotífero.

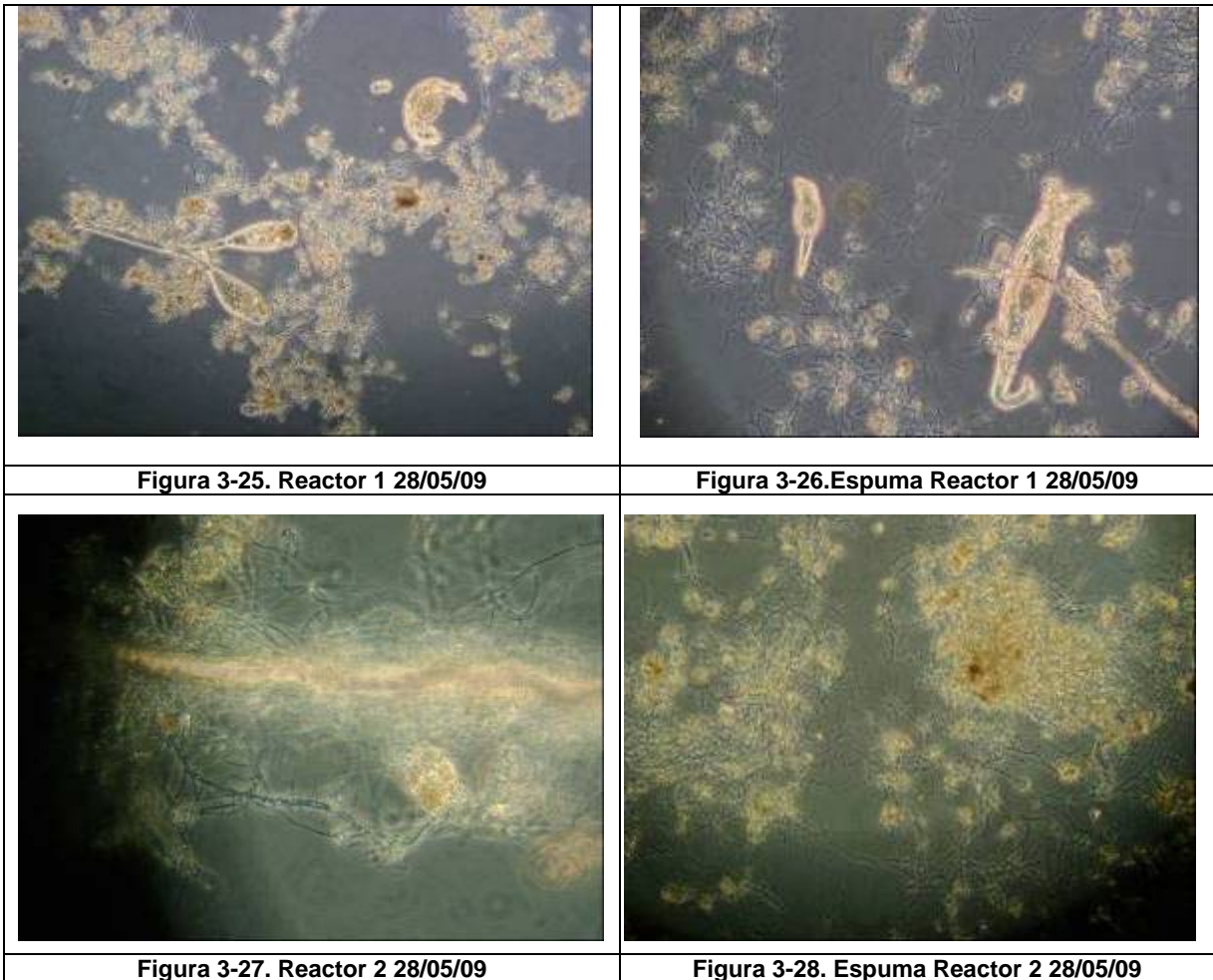
Espuma del reactor 1: no se observa presencia de protozoos y amebas.

Reactor 2: se observa ciliados *Carchesium* sp y rotífero.

Espuma del reactor 2: no se observa protozoos y amebas.



Fecha de análisis:	28/05/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



**Análisis de protozoos y amebas**

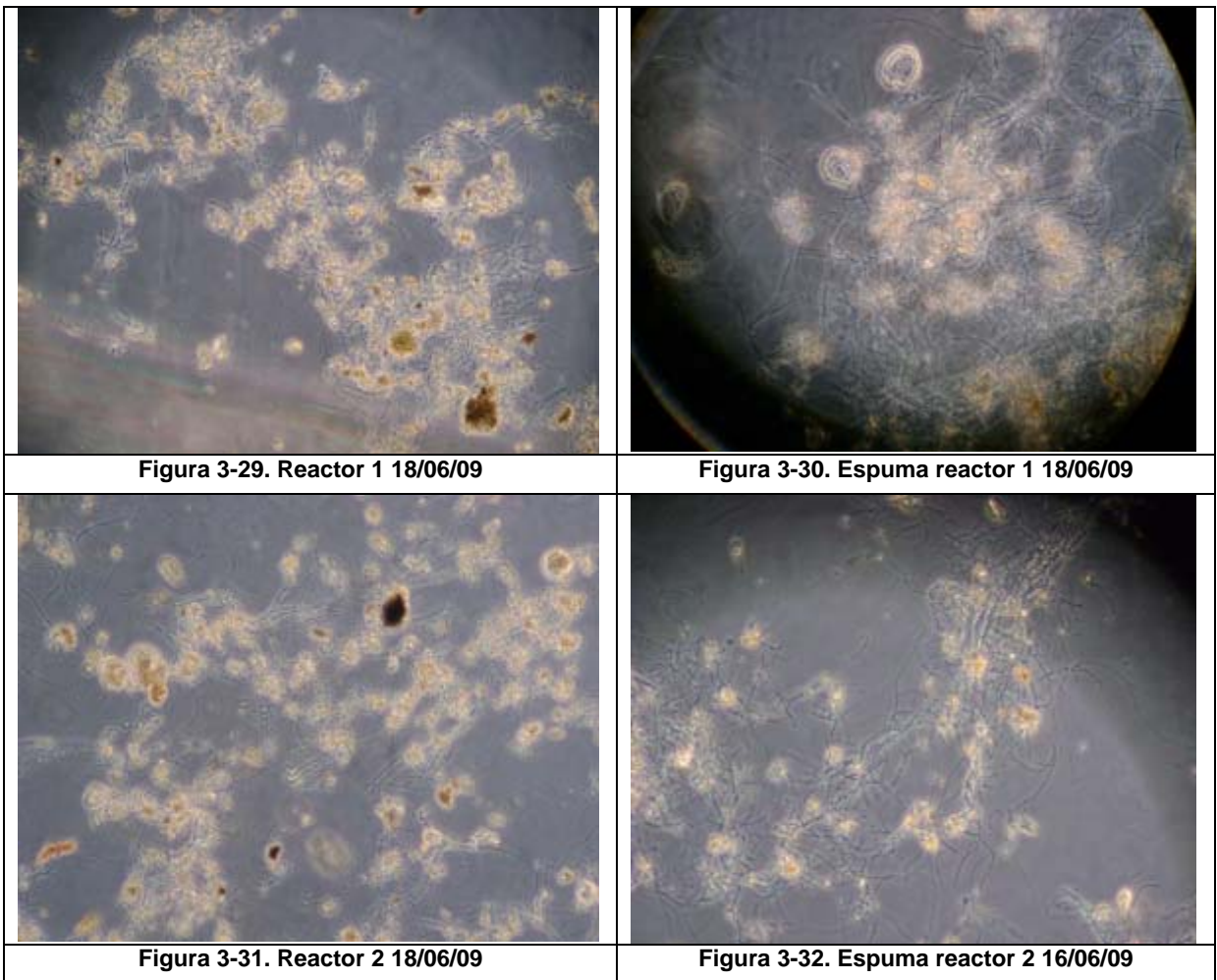
Reactor 1: se observa alta presencia de ciliados *Vorticella*, *Carchesium* sp., *Aspidisca* sp., *Litonotus* sp. y alta presencia de rotíferos.

Espuma del reactor 1: se observa presencia de *Vorticella* y alta presencia de rotíferos.

Reactor 2: se observa ciliados *Carchesium* sp. y *Aspidisca* sp. y alta presencia de rotíferos.

Espuma del reactor 2: se observa ciliados *Litonotus* sp., *Vorticella alpestris*, *Aspidisca* y rotíferos.

Fecha de análisis:	18/06/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 4



**Análisis de protozoos y amebas**

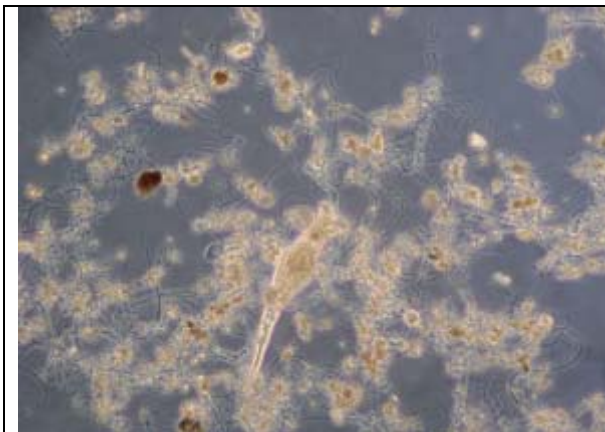
Reactor 1: se observa alta presencia de ciliados Litonotus, Carchesium, Aspidisca y rotífero.

Espuma del reactor 1: se observa ciliados Litonotus, Aspidisca sp y rotífero.

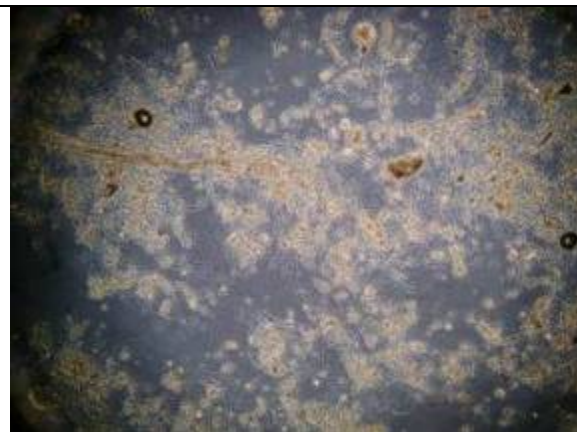
Reactor 2: se observa alta presencia de ciliados Litonotus, Aspidisca sp y rotífero.

Espuma del reactor 2: solo se observa Litonotus.

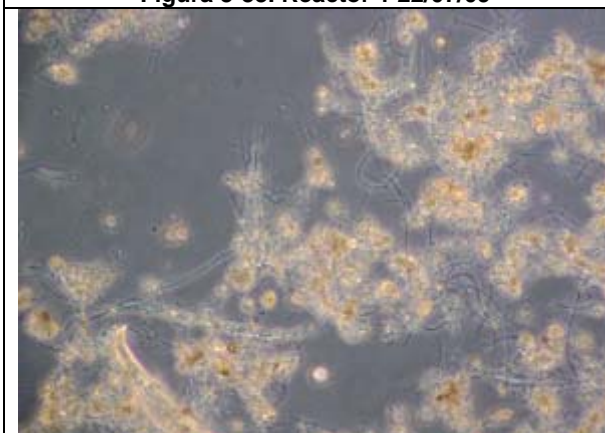
Fecha de análisis:	22/07/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



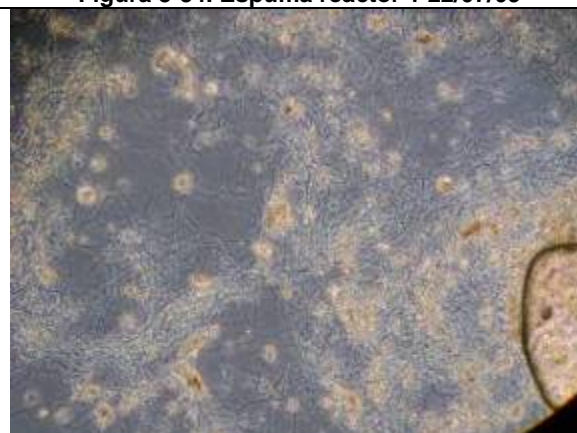
**Figura 3-33. Reactor 1 22/07/09**



**Figura 3-34. Espuma reactor 1 22/07/09**



**Figura 3-35. Reactor 2 22/07/09**



**Figura 3-36. Espuma reactor 2 22/07/09**

**Análisis de protozoos y amebas**

Reactor 1: se observa Flagelados, alta presencia de ciliados Vorticella Alpestris, Carchesium sp., Aspidisca sp., Litonotus sp. y presencia de rotífero.

Espuma del reactor 1: se observa ciliados Vorticella Alpestris, Aspidisca y rotífero.

Reactor 2: se observa alta presencia de ciliados Vorticella Alpestris, Carchesium sp., Aspidisca sp., Litonotus sp. y rotífero.

Espuma del reactor 2: se observa ciliados Litonotus sp., Aspidisca sp y rotíferos.

Fecha de análisis:	21/08/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



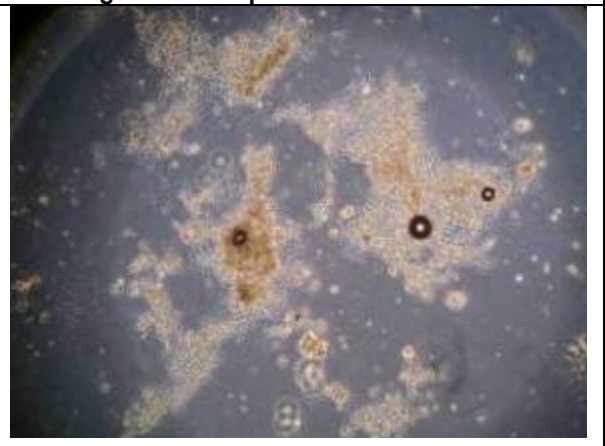
**Figura 3-37. Reactor 1 21/08/09**



**Figura 3-38. Espuma reactor 1 21/08/09**



**Figura 3-39. Reactor 2 21/08/09**



**Figura 3-40. Espuma reactor 2 21/08/09**

#### Análisis de protozoos y amebas

Reactor 1: se observa presencia Flagelados, ciliados *Carchesium* sp., *Vorticella Alpestris*, *Aspidisca* sp. y rotífero.

Espuma del reactor 1: se observan Flagelados, ciliados *Carchesium* sp. y *Aspidisca* sp.

Reactor 2: se observa alta presencia de ciliados *Litonotus*, *Vorticella Alpestris*, *Aspidisca* sp., *Carchesium* sp. y rotífero.

Espuma del reactor 2: se observa *Aspidisca* sp., *Carchesium*, *Vorticella Alpestris* y rotífero.

### 3.4 PLANTA LOS TRAPENSES

En los análisis de microscopia realizados de lodo mixto y espuma a partir del mes de Abril hasta el mes de Agosto, se observa una alta presencia bacterias filamentosas *Nocardia* sp. de forma irregular, ramificada y con filamentos cortos dentro y fuera del floc, bacterias filamentosas *M. Parvicella*, largas y delgadas sin adherencias y delgadas con adherencias que pueden ser del tipo 1701 o 0041. A partir de esto, y de la bibliografía disponible<sup>3</sup>, se puede comentar lo siguiente:

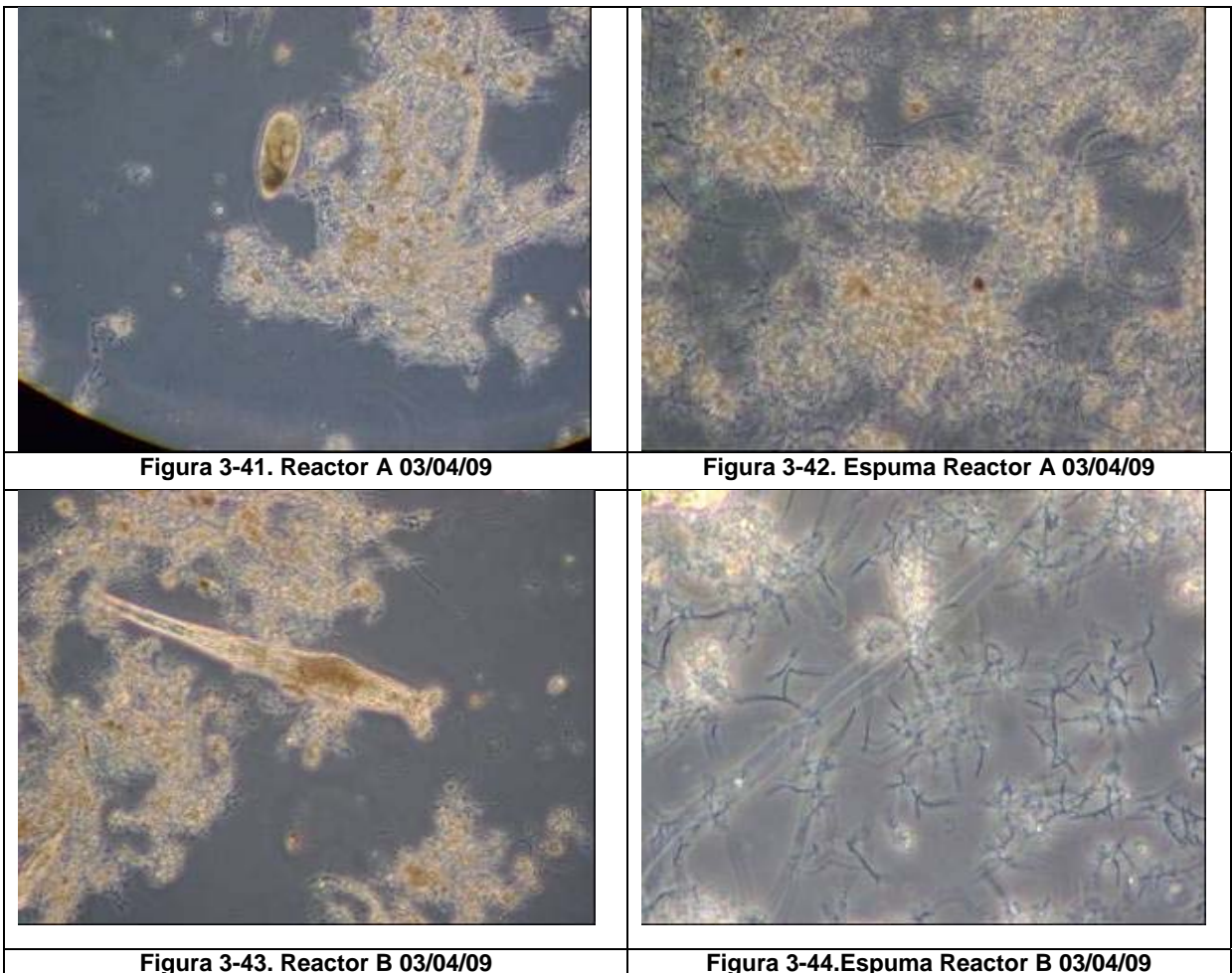
- La presencia de bacterias filamentosas del tipo 1701 se produce por déficit de oxígeno.
- La presencia de filamentosas *M. Parvicella*, con bacterias filamentosas *Nocardia* sp. y del tipo 0041 se produce por baja relación de F/M.
- La presencia de *M. Parvicella* y *Nocardia* sp. Promueve la producción de espuma en este reactor.
- La presencia de *M. Parvicella* se produce por exceso de grasas y aceites.
- La presencia de *Nocardia* sp. se produce por alto tiempo de retención hidráulico, presencia de grasas y aceites a temperaturas moderada.

A continuación se observa lo analizado en el microscopio a partir del mes de Abril hasta el mes de Agosto.

---

<sup>3</sup> Ingeniería de aguas residuales, Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill, Metcalf & Eddy, 2001, Páginas 420-432

Fecha de análisis:	03/04/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 4
Grado de abundancia reactor 2	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 4



**Análisis de protozoos y amebas**

Reactor A: se observa alta cantidad de ameba *Euglypha alveolata* y ciliados *Holophrya* sp y rotífero.

Espuma del reactor A: sólo se observa *Arcella hemisphaerica*.

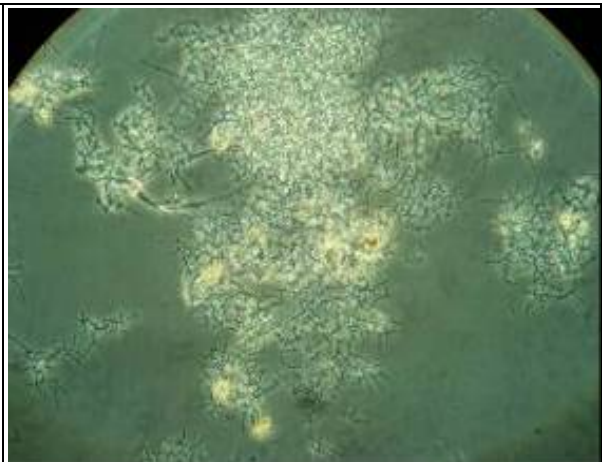
Reactor B: se observa una alta cantidad de ciliados *Litonotus* sp., *Holophrya* sp y rotíferos.

Espuma del reactor B: se observa ameba *Euglypha alveolata*

Fecha de análisis:	06/05/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



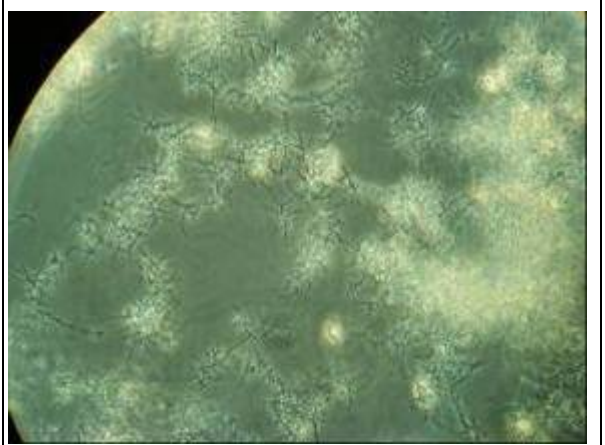
**Figura 3-45. Reactor A 06/05/09**



**Figura 3-46. Espuma Reactor A 06/05/09**



**Figura 3-47. Reactor B 06/05/09**



**Figura 3-48. Espuma Reactor B 06/05/09**

**Análisis de protozoos y amebas**

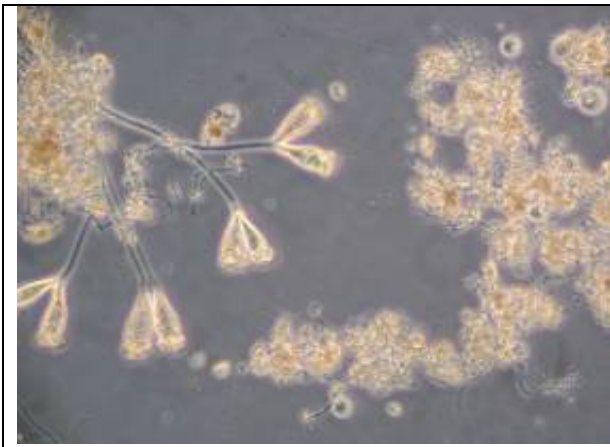
Reactor A: se observa alta presencia de ciliados *Vorticella alpestris*, *Vorticella gracilis*, *Epiastylis* sp., *Aspidisca* sp., *Trachellophyllum* sp. y rotífero.

Espuma del reactor A: no se observan protozoos y amebas.

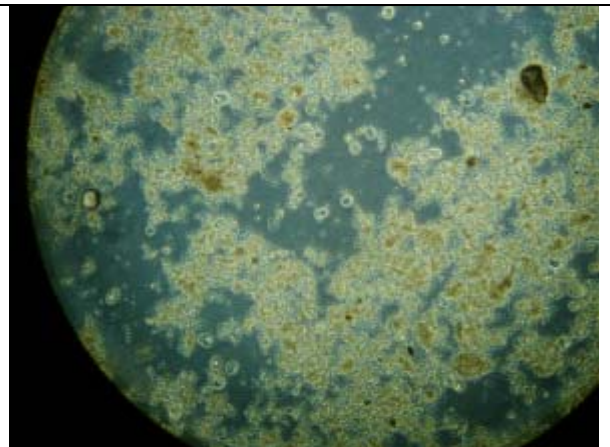
Reactor B: se observa una alta cantidad de ciliados *Vorticella alpestris*, *Vorticella gracilis*, *Epiastylis* sp., *Aspidisca* sp., *Trachellophyllum* sp. y alta presencia de rotíferos.

Espuma del reactor B: se observa ciliados *Vorticella alpestris*, *Epiastylis* sp.

Fecha de análisis:	17/06/09
Grado de abundancia reactor 1	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



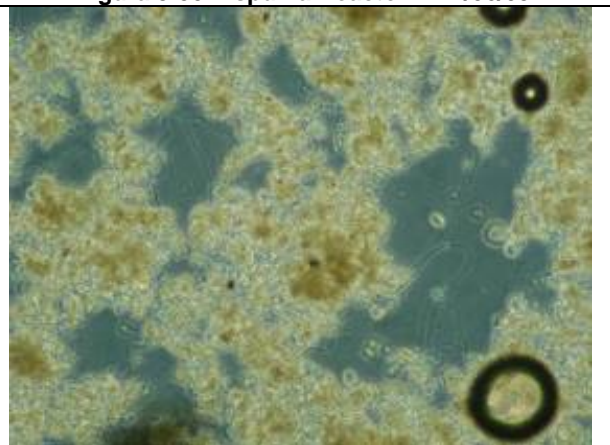
**Figura 3-49. Reactor A 17/06/09**



**Figura 3-50. Espuma Reactor A 17/06/09**



**Figura 3-51. Reactor B 17/06/09**



**Figura 3-52. Espuma Reactor B 17/06/09**

**Análisis de protozoos y amebas**

Reactor A: se observa alta presencia de ciliados *Aspidisca* sp., *Vorticella alpestris*, *Carchesium* sp. y rotífero.

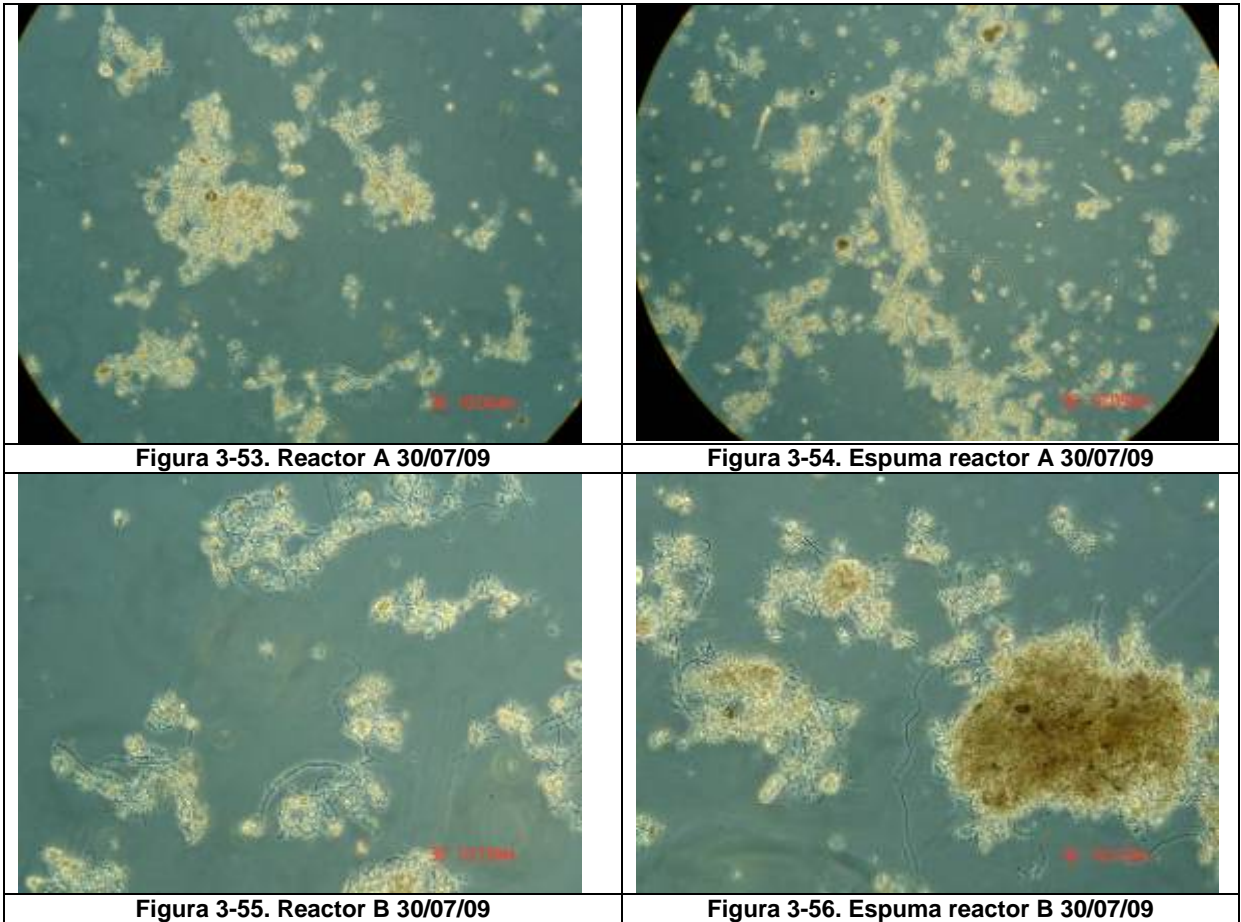
Espuma del reactor A: se observa presencia de ciliados *Carchesium* sp.

Reactor B: se observa alta presencia de ciliados *Vorticella alpestris*, *Carchesium*, *Aspidisca*.

Espuma del reactor B: solo se observa una menor presencia de rotíferos.



Fecha de análisis:	30/07/09
Grado de abundancia reactor 1	: 2
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 5
Grado de abundancia reactor 2	: 4
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



**Análisis de protozoos y amebas**

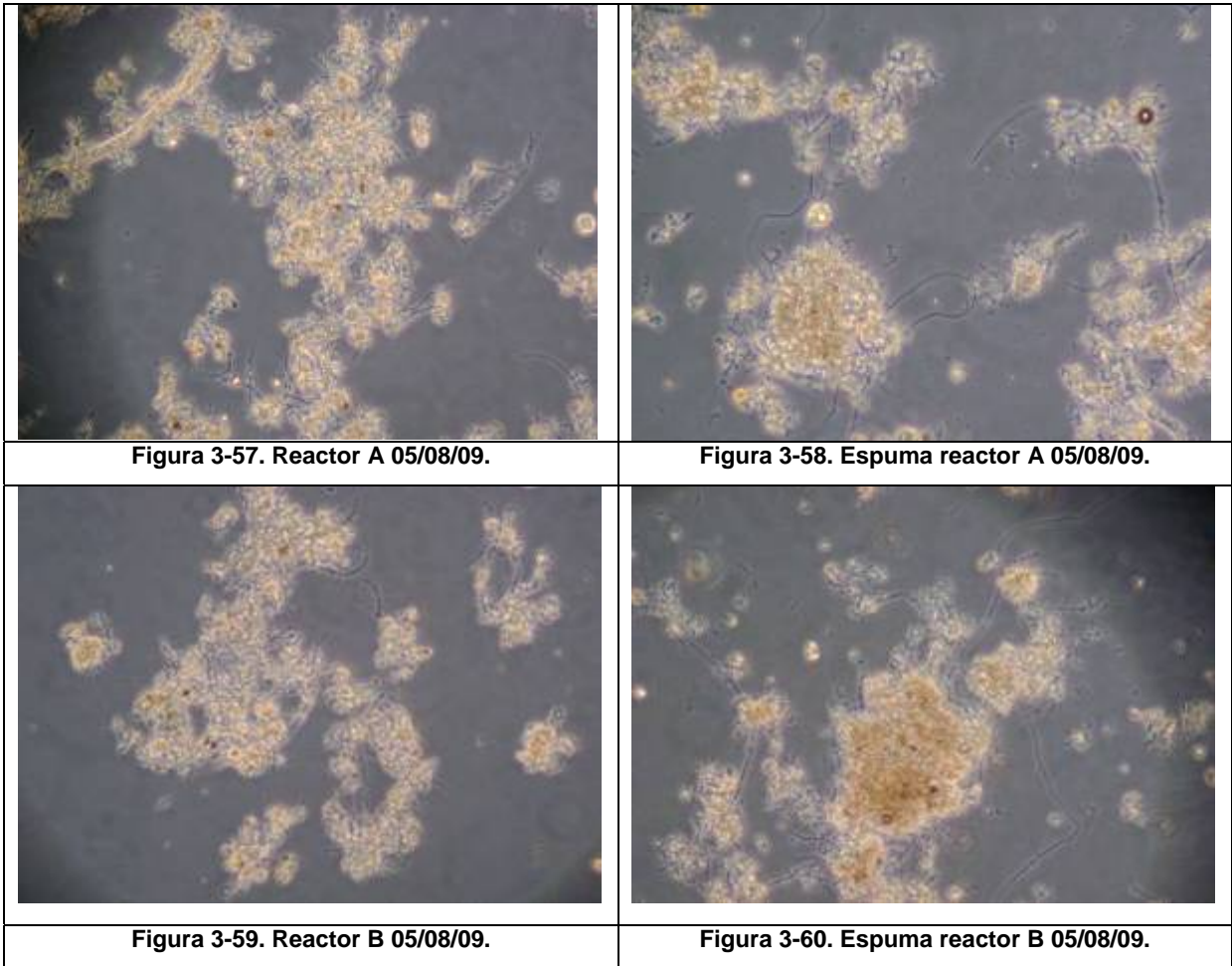
Reactor A: se observa alta presencia de ciliados *Aspidisca* sp., *Vorticella alpestris*, *Litonotus* sp. y rotíferos.

Espuma del reactor A: se observa Flagelados, ciliados *Aspidisca* sp. y Rotíferos.

Reactor B: se observa Flagelados, ciliados *Aspidisca* sp., *Vorticella Alpestris*, *Gymnostómido* y rotíferos.

Espuma del reactor B: solo se observa una menor presencia de rotíferos.

Fecha de análisis:	05/08/09
Grado de abundancia reactor 1	: 3
Grado de abundancia espuma del reactor 1	: 4
Grado de abundancia reactor 2	: 2
Grado de abundancia espuma del reactor 2	: 5



#### Análisis de Protozoos y amebas

Reactor A: se observa alta presencia de ciliados *Aspidisca* sp., *Litonotus* sp., *Vorticella* alpestris y rotíferos.

Espuma del reactor A: solo se observa *Litonotus* sp.

Reactor B: se observa alta presencia de ciliados *Aspidisca* sp., *Litonotus* sp., *Vorticella* alpestris, *Carchesium* sp. y Nematodo.

Espuma del reactor B: se observan *Aspidisca* y *Litonotus*.

## 4. CAUSAS Y EFECTOS DE PROLIFERACIÓN DEL BULKING FILAMENTOSO

El desarrollo de la presente investigación comprenderá tres plantas de localidades de Aguas Andinas S.A., las cuales son: Curacaví, Paine y Los Trapenses.

Para cumplir los objetivos trazados se realizaron las siguientes tareas: Mediciones de Potencial Oxido-Reducción, muestreo de licor mixto y espuma de cada reactor, análisis microscopia de muestras de licor mixto y espuma, recopilación de datos SCADA, análisis de datos de OD, recopilación de datos de proceso, análisis de datos de proceso y análisis de datos de analítica de laboratorio.

En las plantas estudiadas se tomaron muestras semanales de aguas servidas, estas muestras son tomadas por los laboratorios en los siguientes puntos:

- Efluente post Pretratamiento
- Retorno de espesador
- Retorno de la centrífuga

En la figura 4-1, se observan los puntos de toma de muestras.

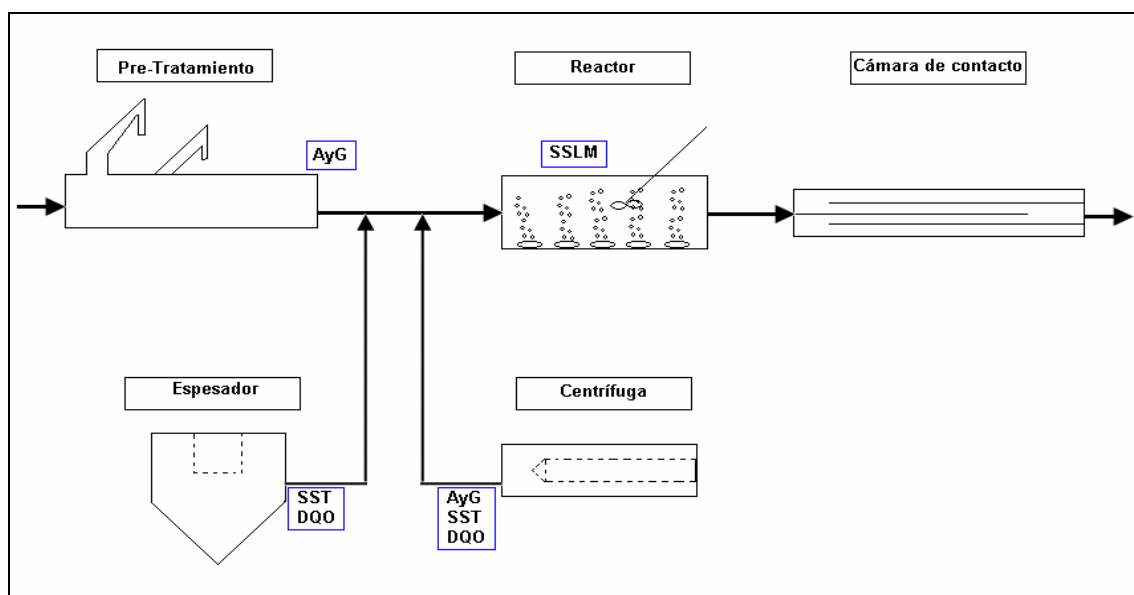


Figura 4-1. Puntos de toma de muestras semanales.

Además se toman muestras para microscopía, con frecuencia semanal en estas plantas de:

- Espuma superficial en los reactores.
- Licor mixto de los reactores biológicos

Estas muestras se analizarán a través de microscopía. A través de la microscopía se busca identificar las filamentosas que causan el Bulking en cada una de las plantas, para así establecer una adecuada correspondencia de la variable operacional que causa la aparición de estas filamentosas, por medio de información de analíticas físicas y químicas que se realizan como parte del autocontrol, tanto normativo como de control de proceso.

#### Procedimiento de medición de POR

Para verificar el estado del proceso de nitrificación-desnitrificación, se realizan mediciones de potencial de óxido reducción (POR). Para la medición se instala un equipo POR en el reactor a medir a comienzo de ciclo en aireación, se toma el dato cada 5 minutos del potencial oxido reducción durante todo lo que dure el ciclo (aireación y agitación).

Para la determinación del estado del proceso biológico desde el punto de vista electroquímico, es decir mediante el análisis de los datos obtenidos con el equipo POR, se deben conocer los llamados Umbrales redox. Los cuales se presentan en la figura 4-2.

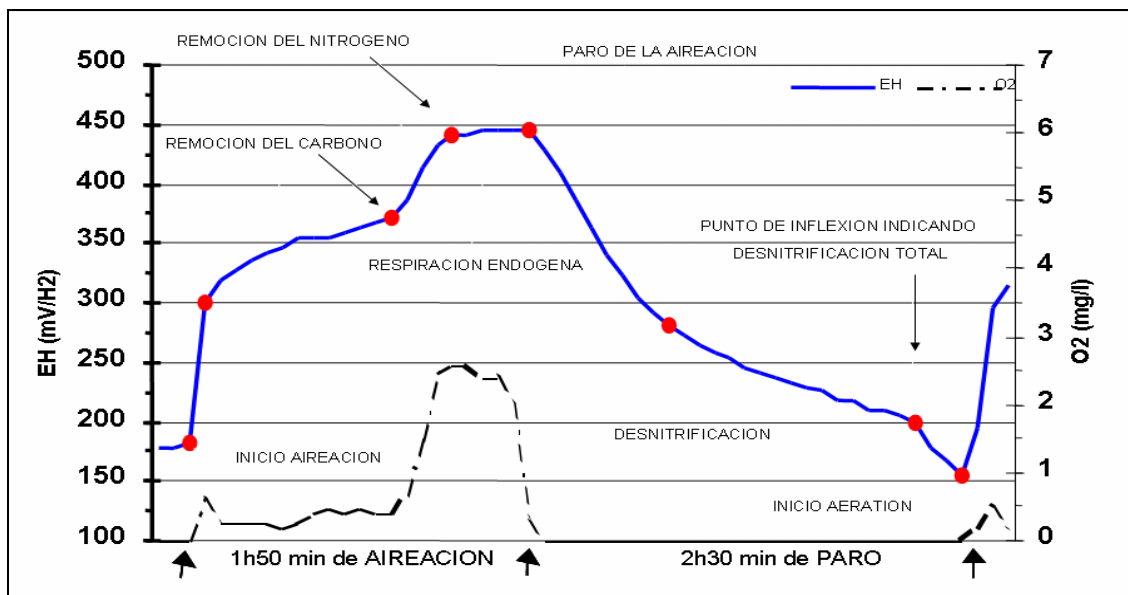


Figura 4-2. Perfil Redox

## Indicadores de las PTAS (Control de Proceso)

Las tres plantas a investigar son de baja carga, donde el F/M es el cociente entre el alimento y la población de microorganismo en el reactor. La relación de F/M esta entre 0,05 y 0,15.

Las plantas se rigen a través de controles ya sean de Control normativo y Control de proceso<sup>4</sup>, los cuales son los limites que se deben cumplir en las plantas, las que se observan en la Tabla 4-1.

<b>Indicador</b>	<b>Tipo de Indicador</b>	<b>Límites establecidos</b>
DBO	Normativo	< 35 mg/L
SST	Normativo	< 80 mg/L
N	Normativo	< 50 mg/L
P	Normativo	< 10 mg/L
AYG	Normativo	< 20 mg/L
Coliformes fecales	Normativo	< 1000 NMP/100ml
Humedad de lodo encalado	Proceso	< 80%
Cloro Residual	Proceso	0,25 a 1,0 mg/L
Oxígeno Disuelto	Proceso	2 a 2,5 mg/L
Índice Volumétrico de Lodo (IVL)	Proceso	< 200 ml/g
pH	Proceso	6 - 8,5

**Tabla 4-1. Indicadores Normativos y de Proceso.**

---

<sup>4</sup> Fuente Aguas Andinas S.A. Limite de control de proceso de plantas

## **4.2 Análisis de causas y efectos de proliferación del Bulking filamentoso**

Se observan las causas y efectos de la proliferación de bacterias filamentosas, a través del análisis de sedimentación del lodo, IVL (Índice volumétrico de lodo), de datos de procesos obtenidos de los registros generales de cada una de las plantas y de los datos entregados por ANAM (Laboratorio de análisis ambientales) de efluente de pretratamiento y los retornos que llegan a los reactores desde Abril hasta Agosto.

En las tres plantas estudiadas se encontraron iguales causas y efectos de la proliferación del Bulking filamentoso, las cuales se pueden encontrar en los Anexos A, B y C. Se mostrarán las curvas más representativas de las tres plantas en las que se identificarán las causas y efectos de la proliferación del Bulking filamentoso.

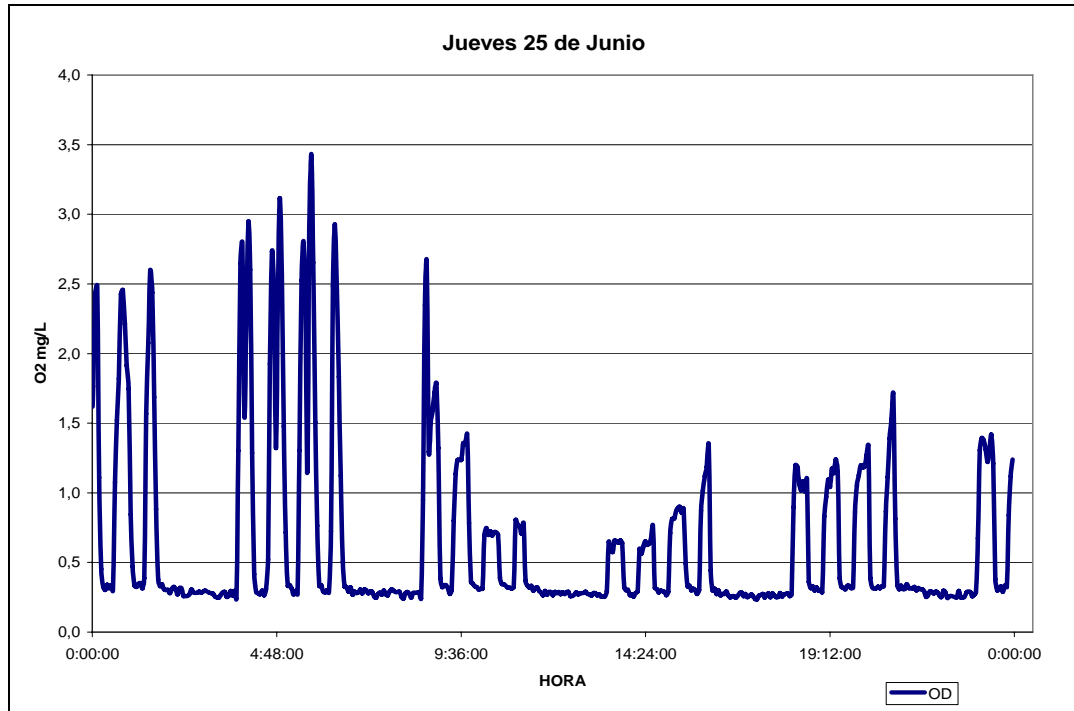
### **4.2.1 Causas de la proliferación del Bulking filamentoso**

Las causas del Bulking filamentoso que se identificaron en esta investigación son:

#### *4.2.1.1 Déficit de oxígeno*

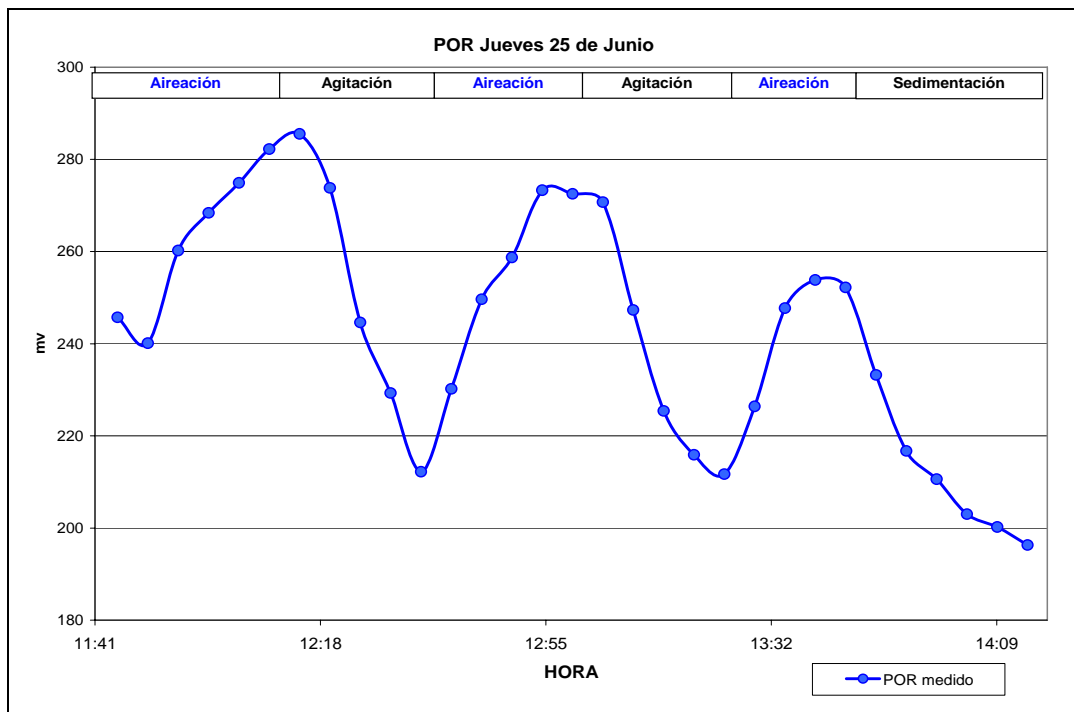
En la figura 4-3 se observa la curva de oxígeno disuelto, la cual se obtuvo de los datos de SCADA, esta entrega los datos de las 24 horas de un día.

En esta curva se puede observar que durante el período de alta carga de la planta, de las 9:00 a 00:00 horas, se produce una disminución en la concentración de oxígeno, la concentración promedio en este período es de 0,8 mg/L, lo cual está por debajo del valor de consigna, evidenciando un déficit de oxígeno en los períodos de alta carga de las plantas.



**Figura 4-3. Datos de Oxígeno disuelto.**

En la figura 4-4 se observa la curva de Potencial óxido-reducción del mismo día que fue obtenida la curva del oxígeno disuelto.



**Figura 4-4. Potencial de óxido-Reducción.**

Esta curva fue medida en el período de alta carga, entre 11:40 y 14:10 horas. La medición de POR realizada indica que solo hay una remoción parcial de carbono y nitrógeno, lo que corrobora un déficit de oxígeno, en períodos de alta carga de los reactores.

#### 4.2.1.2 Excesos de Aceite y Grasa

En la figura 4-5 se observa los efectos de las concentraciones de aceite y grasas proveniente del pre-tratamiento.

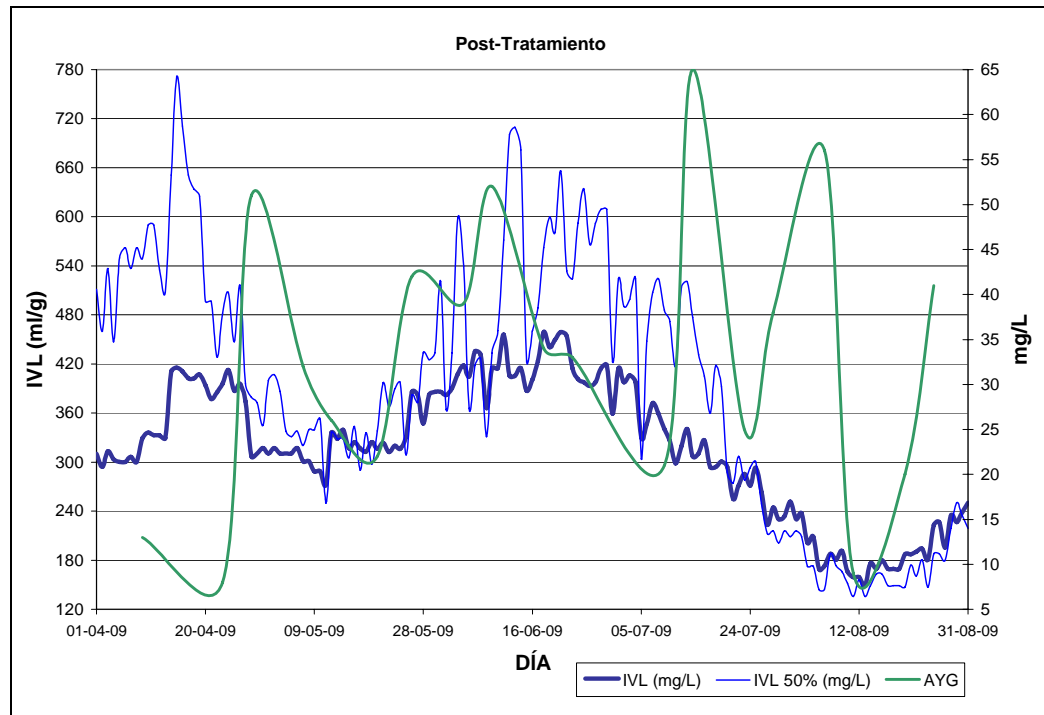


Figura 4-5. Efectos de AYG del Pre-tratamiento en el IVL.

En esta curva se observa que a medida que aumenta las concentraciones de aceite y grasas en el reactor, se produce un aumento en los valores de IVL, por ende una mala sedimentabilidad en el reactor. Esto ocurre por una mala remoción en los equipos de Pre-tratamiento, donde los aceites y grasas pasan directamente a los reactores, instalándose en la superficie, generando condiciones sépticas, donde proliferan bacterias filamentosas que generan espumas.



#### 4.2.1.3 Deficit en la relación de F/M

En la figura 4-6 se observa los efectos del déficit de la relación de F/M en el reactor.

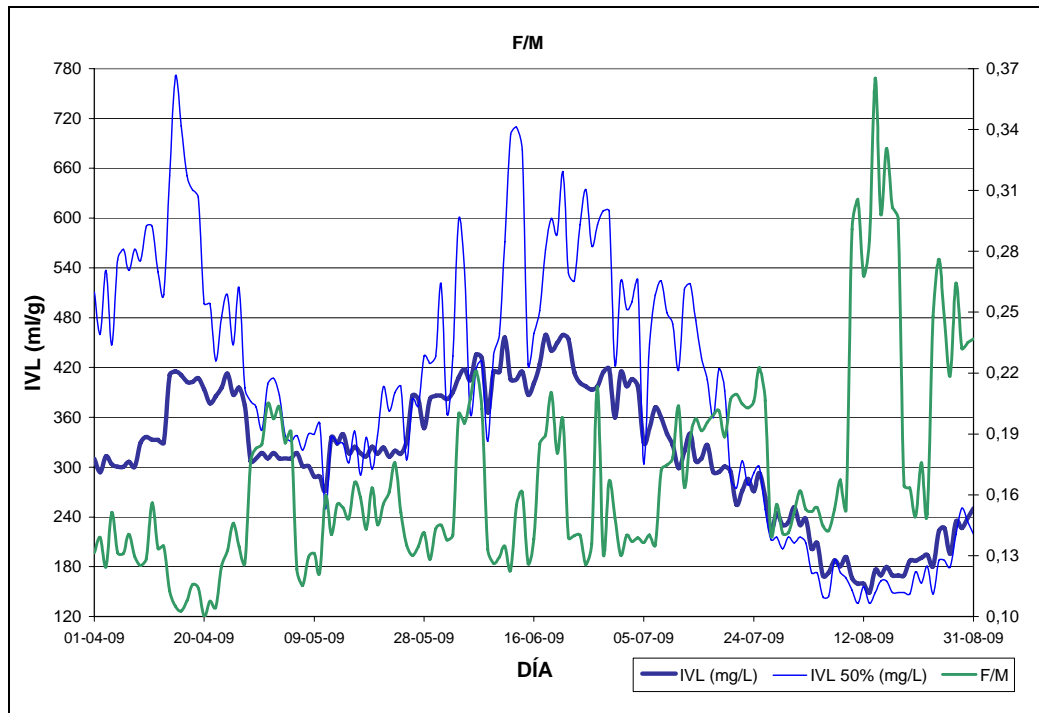


Figura 4-6. Efectos del F/M en el IVL.

El F/M, es la relación de alimento por microorganismos. Se puede observar que al disminuir la relación de F/M se produce un aumento en el IVL, lo cual indica una mala sedimentabilidad en el reactor.

Las bacterias filamentosas son parte de la estructura del flóculo, estas tienen una mayor superficie que los microorganismos, por lo que cuando hay carencia de alimento, estas son las primeras en captar esta carencia, y por lo tanto estas proliferan generando Bulking filamentoso, esto es lo que sucede cuando disminuye la relación de F/M.

En casos como Curacaví y Paine se ha evidenciado que valores de F/M bajo 0,08, perjudica directamente la sedimentabilidad del lodo, aumentando inmediatamente el IVL.

#### 4.2.1.4 Retornos del espesador

En la figura 4-7 se observa los efectos de las altas concentraciones de SST proveniente del retorno del espesador.

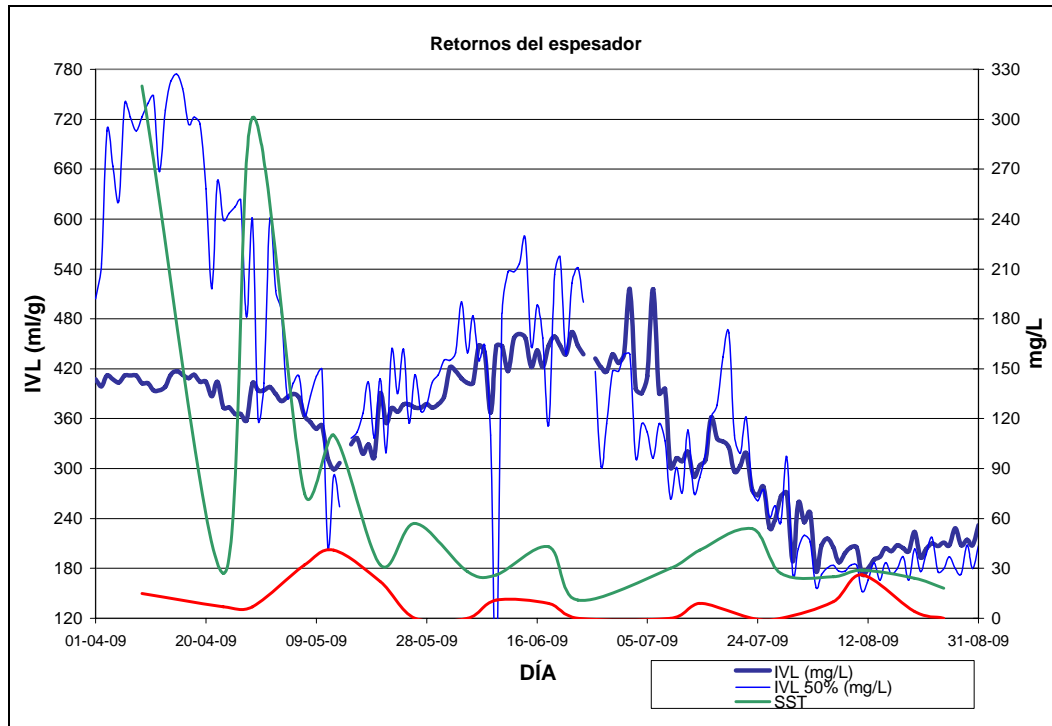


Figura 4-7. Efectos de los retornos del espesador en el IVL.

Se puede observar que a medida que aumentan las concentraciones de SST proveniente del espesador se produce un aumento en los valores del IVL, lo cual indica una mala sedimentabilidad en el reactor.

Los retornos del espesador vuelven al reactor con un alto tiempo de retención hidráulica provocando septicidad en los reactores, lo cual genera una proliferación de Bulking filamentoso y un deterioro en la sedimentabilidad del reactor.

#### 4.2.1.5 Retornos de la centrífuga

En la figura 4-8 se observan los efectos de las concentraciones de DQO y SST de los retornos de la centrífuga.

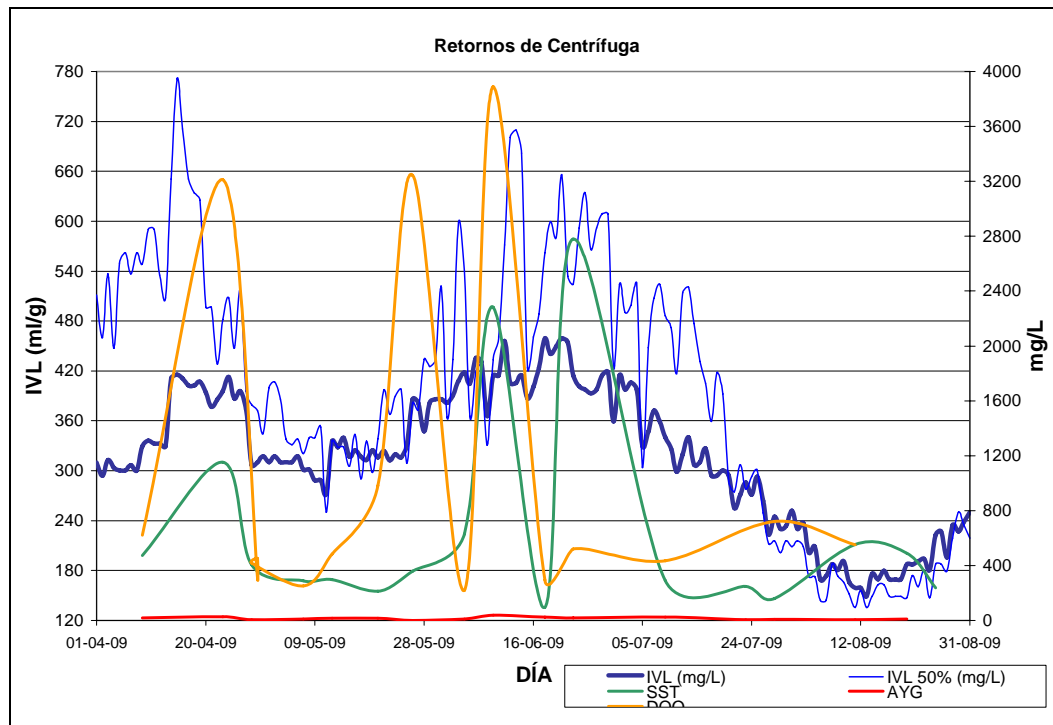
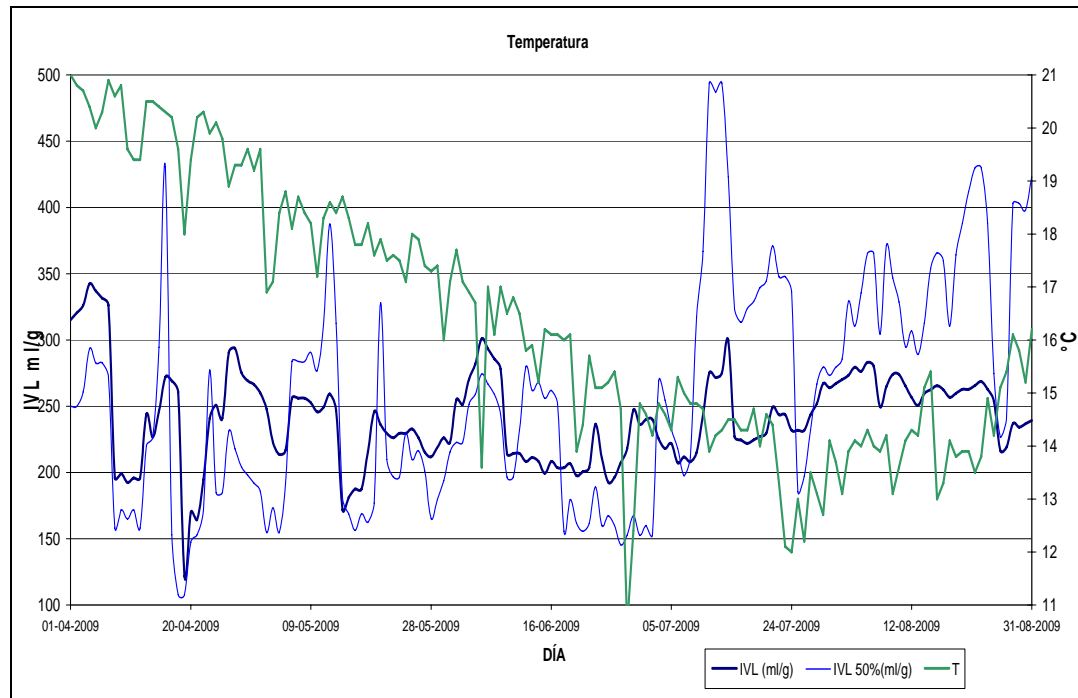


Figura 4-8. Efectos de los retornos de la centrífuga en el IVL.

Se observa que a medida que aumentan las concentraciones de DQO y SST provenientes de los retornos de la centrífuga se produce un aumento en los IVL, lo cual indica una mala sedimentabilidad en los reactores, esto ocurre principalmente por problemas operacionales de regulación de la centrífuga, ya que los retornos vuelven con mucho lodo lo que provoca un aumento en las concentraciones de SST.

#### 4.2.1.6 Bajas temperaturas

En la figura 4-9 se observan los efectos que provocan las bajas temperaturas.



**Figura 4-9. Efectos de la temperatura.**

Se observa que a medida que comienza a bajar las temperaturas en el reactor se produce un aumento en el IVL, lo cual genera una mala sedimentación en el reactor, esto se debe a que al bajar las temperaturas afecta significativamente a los procesos bioquímicos.

## 4.2.2 Efectos de la proliferación del Bulking filamentoso

Los efectos del Bulking filamentoso que se identificaron en esta investigación son:

### 4.2.2.1 Mayor consumo de Hipoclorito en la desinfección

En la figura 4-10 se observa la curva de cloro residual en la desinfección.

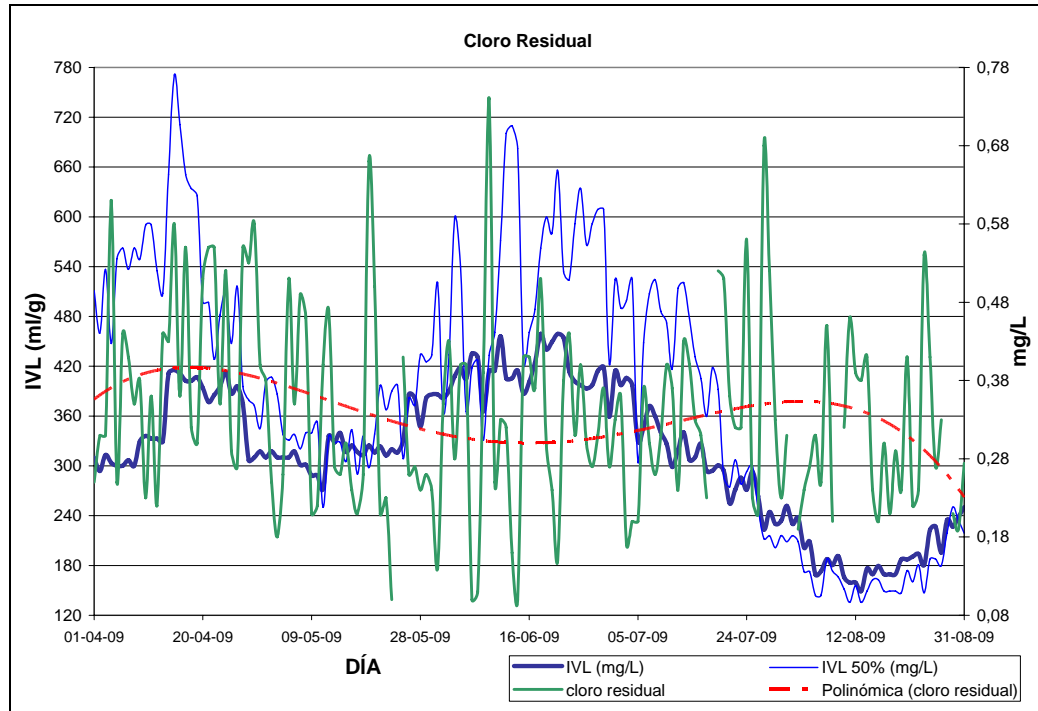


Figura 4-10. Cloro residual.

El cloro residual, es el cloro que no se consumió y que queda en el agua que sale como efluente.

Se observa que cuando aumentan los valores de IVL, hay una disminución del cloro residual. Cuando hay una mala sedimentabilidad en el reactor producto de una proliferación de Bulking filamentoso, el clarificado que se forma en el reactor contiene altas concentraciones de sólidos suspendidos, este clarificado pasa a la cámara de contacto, para su desinfección con hipoclorito de sodio (10% de cloro), y en esta los sólidos suspendidos que vienen en el clarificado consumen mayormente el cloro.

#### 4.2.2.2 Porcentaje de materia seca de lodo deshidratado

En la figura 4-11 se observa la curva del porcentaje de materia seca de lodo deshidratado.

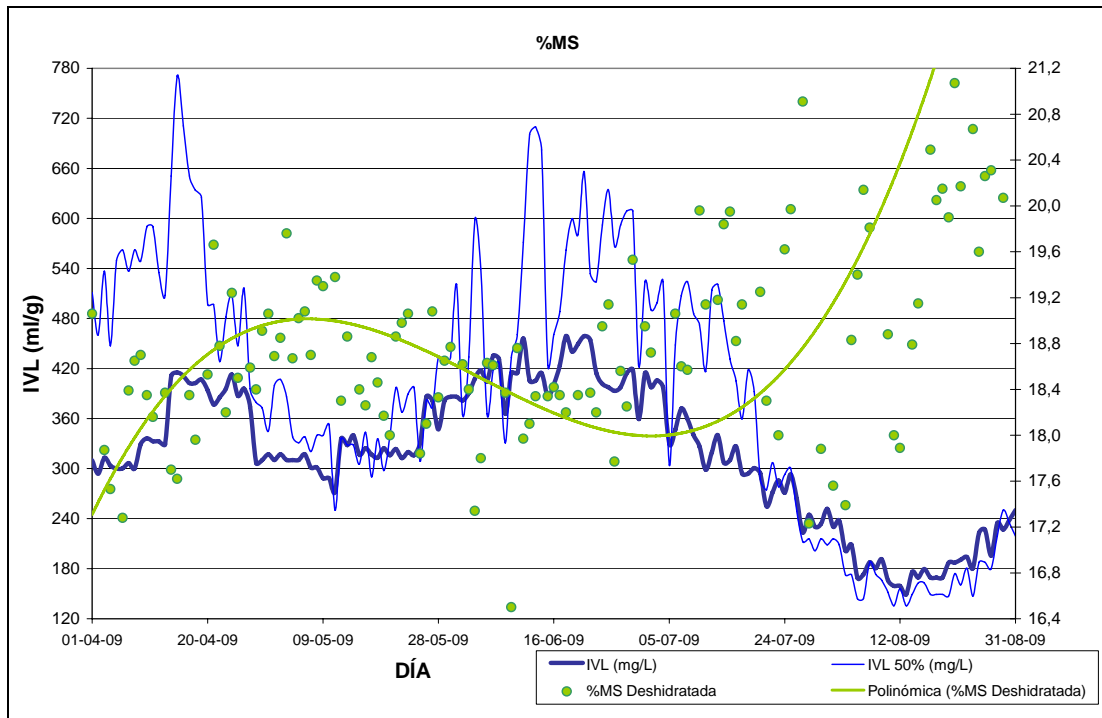


Figura 4-11. Porcentaje de materia seca deshidratada.

Se observa que cuando aumentan los IVL en los reactores, lo cual indica una mala sedimentabilidad, los porcentajes de materia seca de lodo deshidratados obtenidos de la centrifuga contienen mayor humedad.

Cuando hay una mala sedimentabilidad en el reactor producto de una proliferación de Bulking filamentoso, los lodos contienen una mayor cantidad de agua, ya que no hubo una correcta separación de la fase sólida de la líquida, por lo cual cuando son llevados a la centrifuga es más difícil deshidratarlos.

### 4.3 Conclusiones de causas y efectos

Se logró determinar en las plantas estudiadas las causas que producen una proliferación de Bulking filamentoso, estas son:

1. **Déficit de Oxígeno**, se logró identificar por medio de un instrumento portátil de Potencial Oxido-Reducción y a través de sensores que toman datos las 24 horas del día (datos de SCADA), que existe un déficit de oxígeno en los reactores de las tres plantas, en las horas de alta carga, lo que no permite una completa oxidación del lodo, perjudicando la sedimentabilidad del mismo en el reactor.
2. **Excesos de Aceite y Grasas del pretratamiento**, llegan al reactor por problemas de eficiencia de remoción en los equipos de pretratamiento. Estas se instalan en la superficie de los reactores generando condiciones sépticas favoreciendo la proliferación de bacterias filamentosas que generan espuma.
3. **Déficit del F/M**, al disminuir esta relación proliferan las bacterias filamentosas, las que con esta situación se ven favorecidas respecto de los microorganismos de la biomasa. En casos como Curacaví y Paine se ha evidenciado que valores de F/M bajo 0.08, perjudica directamente la sedimentabilidad del lodo.
4. **Retornos del Espesador y de la Centrifuga**, en el espesador hay un alto tiempo de retención hidráulico lo que produce una septicidad que afecta al clarificado que vuelve como retorno al reactor. En cuanto a los retornos de la centrifuga se relacionan a un mal manejo en la deshidratación de los lodos, ya que el clarificado de centrifuga vuelve con altos valores de sólidos. Los aumentos en los retornos de SST y DQO repercuten directamente en la calidad de sedimentación.
5. **Bajas de temperatura**, al disminuir la temperatura, se evidencia cierto deterioro en la calidad de la sedimentabilidad del lodo en el reactor, ya que la temperatura afecta a los procesos bioquímicos.

Se logró determinar los efectos que provoca la proliferación de Bulking filamentoso, estos son:

1. **Cloro Residual**, cuando hay mala calidad de sedimentación en el reactor, el clarificado sale a la cámara de contacto con alta cantidad de sólidos, provocando un mayor consumo de Hipoclorito de sodio en la desinfección. Los aumentos en el IVL y la mala sedimentabilidad consecuente afectan directamente la calidad del efluente y el consumo de Cloro.
2. **Porcentaje de masa seca de lodos deshidratados**, cuando hay mala calidad de sedimentabilidad en el reactor decrece el %MS de los lodos deshidratados.



## 5. CONTROL DEL FENÓMENO BULKING Y ESPUMA

Mediante el Control Bulking y Control Espuma se busca mejorar la calidad de sedimentación del lodo y eliminar la espuma en la superficie de los reactores; esto a su vez permite una buena calidad de efluente, buena sedimentabilidad en el espesador, un lodo más concentrado en el acumulador y mayor sequedad del lodo en la deshidratación, produciéndose un menor costo de insumos y buena calidad en el efluente.

### 5.2 Experiencias y Evolución del fenómeno

#### 5.2.1 Control Bulking

Se realiza Control Bulking cuando el grado de abundancia es sobre 3, los floc están dispersos generando puentes entre ellos, lo que genera una mala sedimentabilidad del lodo. Para esto se dosifica hipoclorito de sodio en el licor mezcla.

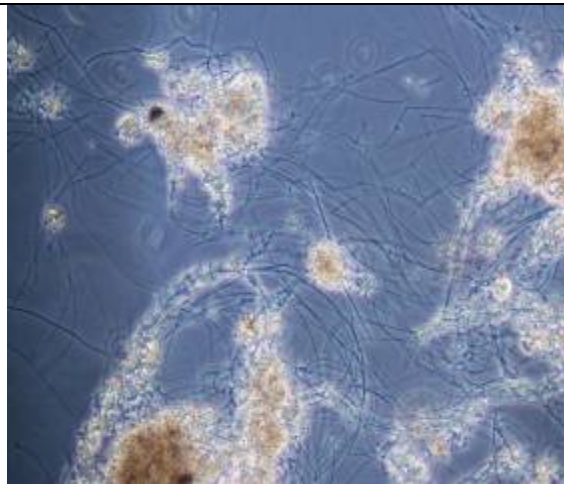
##### 5.2.1.1 Primera experiencia Control Bulking

En Curacaví se realizó la primera experiencia de control de Bulking, desde el 16 de Abril al 28 de Abril, donde fueron 12 días de aplicación de Control Bulking (1 edad de lodo).

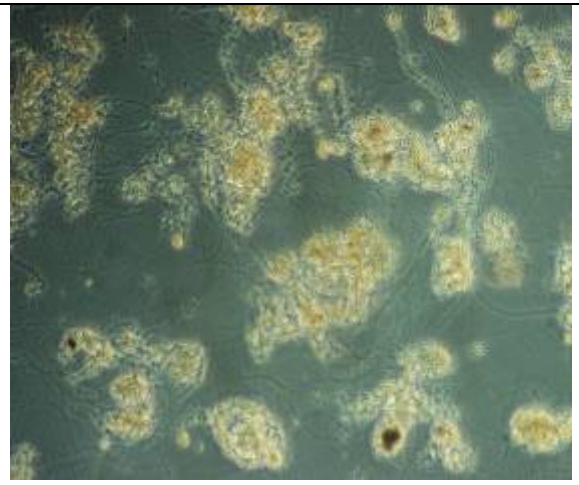
Aplicación:

- Agente químico: Hipoclorito de sodio (contiene un 10% de cloro).
- Dosis de aplicación: 4grCl/kgSSV\*día
- Tiempo de aplicación: 12días o 1 edad del lodo.
- Forma de aplicación: mediante línea de inyección que permita mezcla adecuada del licor mezcla con el agente químico.

En las figuras 5-1, 5-2, 5-3 y 5-4 se observa el análisis de microscopía antes de la aplicación. Durante la aplicación de Hipoclorito se observa a través de los días una disminución del Bulking a nivel de microscopía en las figuras 5-5, 5-6, 5-7 y 5-8. Luego que termina la aplicación, comienzan a reaparecer las bacterias filamentosas como se observa en las figuras 5-9, 5-10, 5-11 y 5-12.



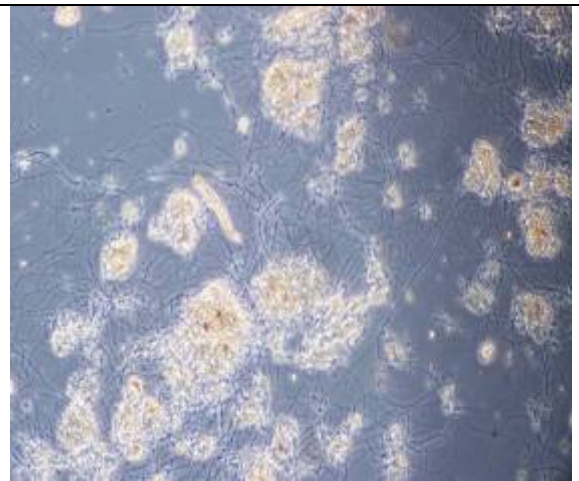
**Figura 5-1 Reactor1 antes de aplicación14/04/09**



**Figura 5-2 Espuma reactor1 antes de aplicación14/04/09**



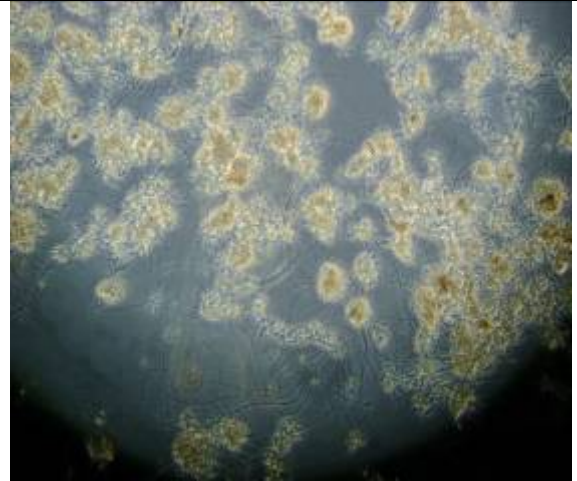
**Figura 5-3 Reactor 2 antes de aplicación14/04/09**



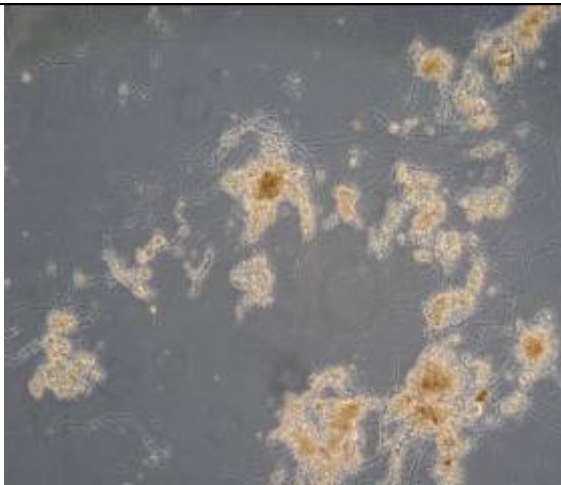
**Figura 5-4 Espuma reactor2 antes de aplicación14/04/09**



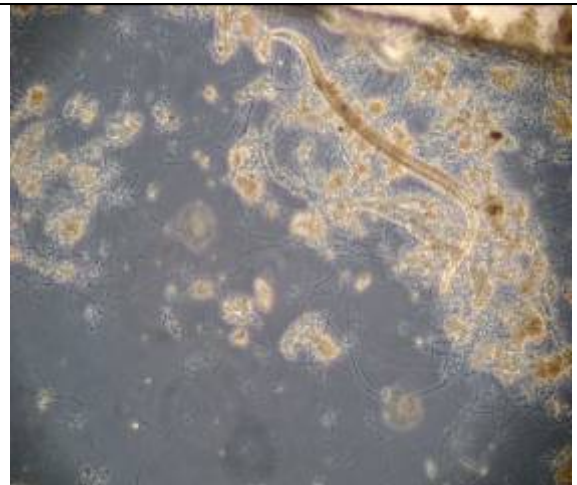
**Figura 5-5 Reactor 1 durante aplicación 24/04/09**



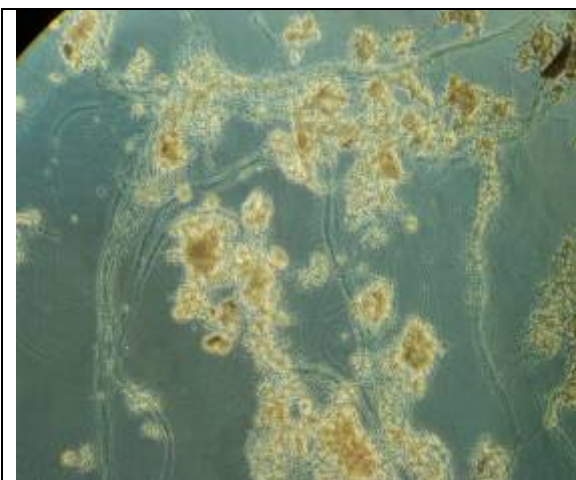
**Figura 5-6 Espuma reactor 1 durante aplicación 24/04/09**



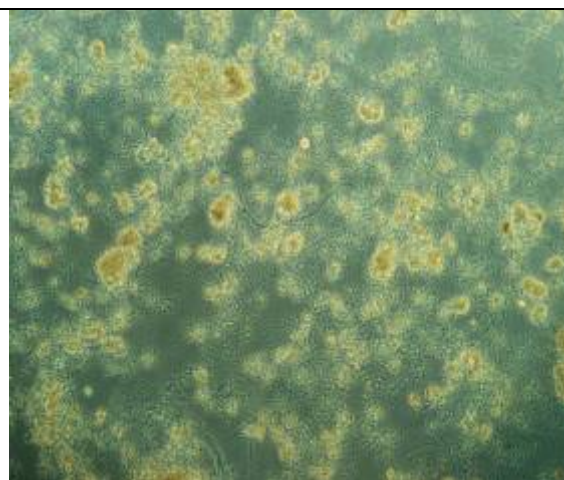
**Figura 5-7 Reactor2 durante aplicación 24/04/09**



**Figura 5-8 Espuma reactor 2 durante aplicación 24/04/09**



**Figura 5-9 Reactor 1 después de aplicación  
14/05/09**



**Figura 5-10 Espuma reactor 1 después de  
aplicación 14/05/09**



**Figura 5-11 Reactor 2 después de aplicación  
14/05/09**



**Figura 5-12 Espuma reactor 2 después de  
aplicación 14/05/09**

### 5.2.1.2 Segunda experiencia Control Bulking

En Curacaví se realizó un segundo control de Bulking, desde el 16 de Julio al 2 de Agosto, en total 17 días de aplicación de Control Bulking (1 edad y media de lodo).

Aplicación:

- Agente químico: Hipoclorito de sodio (contiene un 10% de cloro).
- Dosis de aplicación: 4grCl/kgSSV\*día
- Tiempo de aplicación: 17días o 11/2 edad del lodo.
- Forma de aplicación: mediante línea de inyección que permita mezcla adecuada del licor mezcla con el agente químico.

En las figuras 5-13, 5-14, 5-15 y 5-16 se observa el análisis de microscopia antes de la aplicación.

Durante la aplicación de Hipoclorito se observa a través de los días una disminución del Bulking a nivel de microscopía en las figuras 5-17, 5-18, 5-19 y 5-20, produciéndose una baja en un grado de abundancia de filamentosas y mejorando notoriamente la calidad de sedimentación del lodo en el reactor. Luego del término de la aplicación se observan resultados exitosos como se observa en las figuras 5-21, 5-22, 5-23 y 5-24.



**Figura 5-13 Reactor 1 antes de aplicación 15/07/09**



**Figura 5-14 Espuma reactor 1 antes de aplicación 15/07/09**



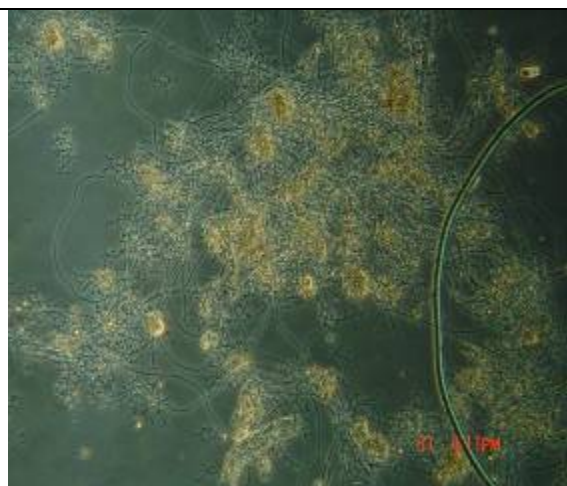
**Figura 5-15 Reactor 2 antes de aplicación 15/07/09**



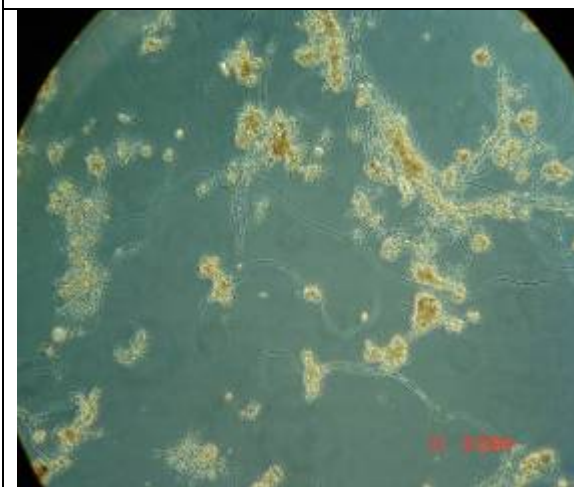
**Figura 5-16 Espuma reactor2 antes de aplicación 15/07/09**



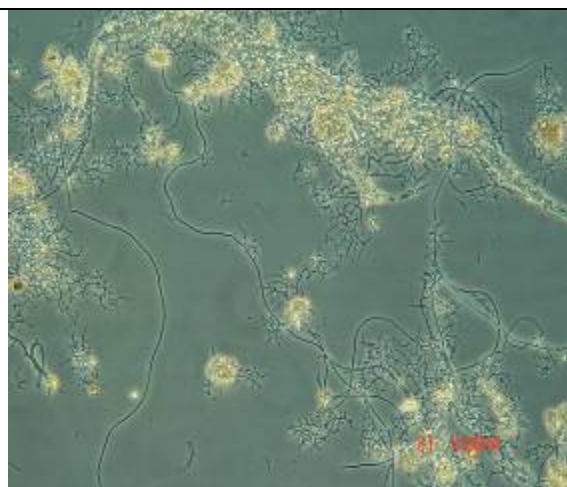
**Figura 5-17 Reactor 1 durante aplicación 31/07/09**



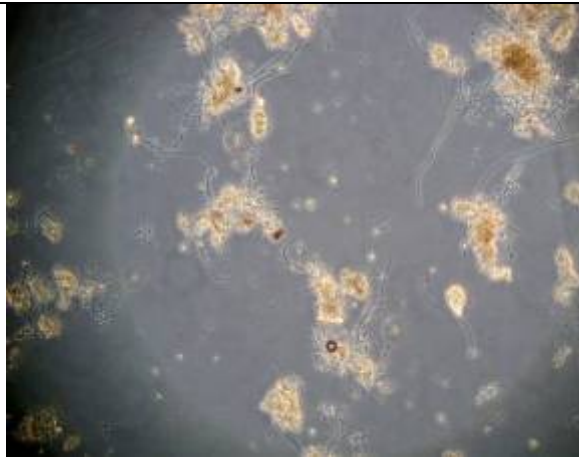
**Figura 5-18 Espuma reactor 1 durante aplicación 31/07/09**



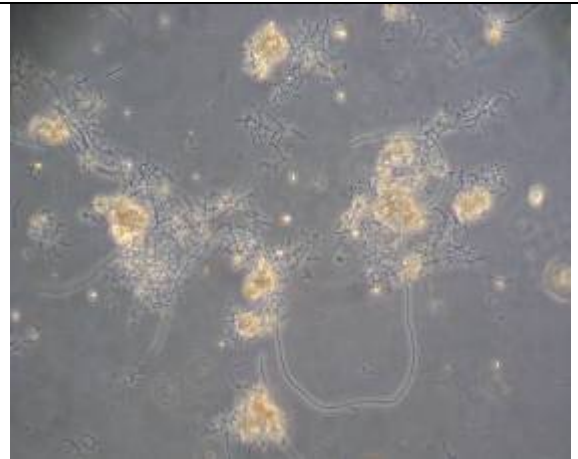
**Figura 5-19 Reactor 2 durante aplicación 31/07/09**



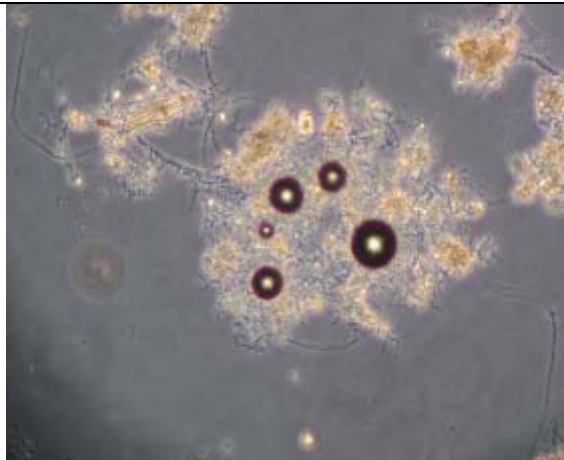
**Figura 5-20 Espuma reactor 2 durante aplicación 31/07/09**



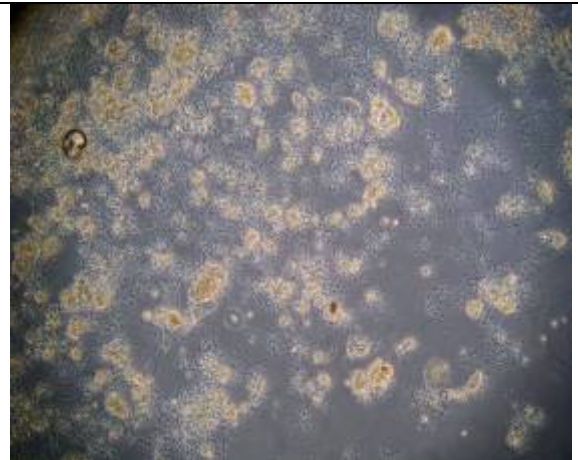
**Figura 5-21 Reactor 1 después aplicación 03/08/09**



**Figura 5-22 Espuma reactor 1 después aplicación  
03/08/09**



**Figura 5-23 Reactor 2 después aplicación 03/08/09**



**Figura 5-24 Espuma reactor 2 después aplicación  
03/08/09**



## 5.2.2 Control Espuma

Mediante la aspersión de antiespumante se busca controlar la espuma superficial existente en reactores producto de los aceites y grasas, ya que el alto tiempo de retención hidráulico de la espuma podría causar una proliferación de filamentosas en el licor mixto y ser causa de Bulking filamentoso.

En la planta de Curacaví a partir del 26 de septiembre hasta el 2 de octubre se realizó una experiencia para el control de espuma, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación.

Aplicación:

- Agente químico: Antiespumante Versinqui bet-50
- Dosis de aplicación: 60l/día
- Tiempo de aplicación: 6 días.
- Forma de aplicación: por aspersión, aprovechando la utilización de red de agua de proceso y presurización, con el fin de incorporar la espuma en el licor mezclado por agitación.

Antes de la aplicación de antiespumante en Curacaví, en la superficie de los reactores una capa de 5cm de espuma como se observa en la figura 5-25.



Figura 5-25 Imágenes antes de la aplicación de antiespumante.

Se realizó el control de espuma mediante la aspersión de antiespumante, Versinqui Bet-50, el cual se aplicó en forma de goteo en agua presurizada en la superficie de los reactores con una dosis de 60 L/día. Las imágenes que se observan en la figura 5-26 son del tercer día de aplicación del antiespumante, donde se aprecia un reactor con muy poca espuma. Al finalizar el tercer día desapareció completamente la espuma del reactor.



Figura 5-26 Imágenes después de la aplicación de antiespumante.

### 5.2.3 Conclusiones de experiencias

En la primera experiencia de Control Bulking el tiempo de aplicación de hipoclorito de sodio fue de una edad de lodo (12 días). Durante la aplicación disminuyó el grado de abundancia de filamentosas en 1 grado y la sedimentabilidad del lodo mejoró, disminuyendo el IVL de 413 a 374(ml/gr), pero después de la aplicación (2 días después) volvió el Bulking al reactor, esto se produjo por el corto tiempo de aplicación, en cambio en la segunda experiencia el tiempo de aplicación fue de una edad y media de lodo (17 días), donde después de la aplicación disminuyó el grado de abundancia de filamentosas en 2 grados y la sedimentabilidad del lodo mejoró de 311 a 185(ml/gr).

En la segunda experiencia se obtuvieron notorias mejoras en el proceso, las que perduraron después de la aplicación y además se determinó el tiempo de aplicación del hipoclorito de sodio que fue de una hora y media de aplicación del lodo.

La experiencia de Control de espuma se realizó con antiespumante Versinqui Bet-50, el cual se aplicó por aspersión en la superficie de los reactores, con una dosis diaria de 60 L/día en un reactor donde el volumen del agua es de 1786m<sup>3</sup>. Esta experiencia resultó bastante buena ya que antes de la aplicación existía una espuma con una altura de 5 cm y al tercer día de la aplicación desapareció completamente.

### 5.3 Análisis de costos

Al realizar Control Bulking y/o Control Espuma se busca mejorar los procesos de las plantas y a su vez disminuir los costos de insumos.

Para analizar la disminución de los costos de insumos se compararán estos, antes de la aplicación y después de la aplicación.

#### 5.3.1 Control Bulking

##### 5.3.1.1 Costo antes de la aplicación

Durante el mes de Julio la planta deshidrató 72,43 m<sup>3</sup> de lodo, la centrífuga trabajó 160 horas, obteniendo una sequedad de lodo promedio de 19,1%, en la tabla 5-1 se presentan los costos de insumos.

Insumo	Unidad	Costo en US por unidad	Cantidad consumida	Costo Total US al mes
Hipoclorito de sodio (Desinfección)	kg	0,32	4602,9	1472,9
Transporte de lodo deshidratado	n° viajes	260,40	13	3385,2
Polímero	kg	4,44	105	466,2
Costo Total en US				<b>5324,4</b>

**Tabla 5-1 Costo de insumos antes de la aplicación Control Bulking.**

El costo de deshidratación de 1m<sup>3</sup> de lodo en el mes de Julio fue de 73,51 US.

### 5.3.1.2 Costo después de la aplicación

Durante el mes de Agosto la planta deshidrató 73,04 m<sup>3</sup> de lodo, donde la centrífuga trabajo 131 horas, obteniendo una sequedad de lodo promedio de 19,5%, en la tabla 5-2 se presentan los costos de insumos.

Insumo	Unidad	Costo en US por unidad	Cantidad consumida	Costo Total US al mes
Hipoclorito de sodio (Desinfección)	Kg	0,32	3340,4	1068,9
Transporte de lodo deshidratado	n° viajes	260,40	13	3385,2
Polímero	kg	4,44	146	648,24
Costo Total en US				<b>5102,4</b>

**Tabla 5-2 Costo de insumos después de la aplicación Control Bulking.**

El costo de deshidratación de 1m<sup>3</sup> de lodo en el mes de Agosto fue de 69,85 US.

Se observa en la tabla 5-2 los costos de insumos después del control Bulking, los que disminuyeron en 222 US en comparación al mes anterior, tabla 5-1. Se trabajó 30 horas menos en la centrífuga y la sequedad del lodo aumentó 0,4%, ahorrando en deshidratación 3,66 US/m<sup>3</sup> de lodo.

## 5.3.2 Control Espuma

### 5.3.2.1 Costo antes de la aplicación

Durante el mes de Septiembre la planta deshidrató 62,09 m<sup>3</sup> de lodo, donde la centrífuga trabajó 99 horas, obteniendo una sequedad de lodo promedio de 18,6%, en la tabla 5-3 se presentan los costos de insumos.

Insumo	Unidad	Costo en US por unidad	Cantidad consumida	Costo Total US al mes
Hipoclorito de sodio (Desinfección)	kg	0,32	5612,1	1795,9
Transporte de lodo deshidratado	n° viajes	260,40	12	3124,8
Polímero	kg	4,44	75	333
polímero líquido	kg	3,11	221,439	688,0
Costo Total en US				<b>5941,7</b>

**Tabla 5-3 Costo de insumos antes de la aplicación Control de Espuma.**

El costo de deshidratación de 1m<sup>3</sup> de lodo en el mes de Agosto fue de 95,69 US.

### 5.3.2.2 Costo después de la aplicación

Durante el mes de Octubre la planta deshidrató 113,23 m<sup>3</sup> de lodo, donde la centrífuga trabajo 164 horas, obteniendo una sequedad de lodo promedio de 22,13%, en la tabla 5-4 se presentan los costos de insumos.

Insumo	Unidad	Costo en US por unidad	Cantidad consumida	Costo Total US al mes
Hipoclorito de sodio (Desinfección)	kg	0,32	3100,6	992,2
Transporte de lodo deshidratado	n° viajes	260,40	15	3906,0
Polímero	kg	4,44	153	679,32
polímero líquido	L	2,981	94	280,214
Costo Total en US				<b>5857,8</b>

**Tabla 5-4 Costo de insumos después de la aplicación Control Espuma.**

El costo de deshidratación de 1m<sup>3</sup> de lodo en el mes de Agosto fue de 51,73 US.

Se observa en la tabla 5-4 los costos de insumos después del control espuma, los que disminuyeron en 83,9 US en comparación al mes anterior, tabla 5-3. La sequedad del lodo aumentó 3,53%, ahorrando en deshidratación 43,96 US/m<sup>3</sup> de lodo.

## 6. PROCEDIMIENTO DE CONTROL BULKING FILAMENTOSO Y ESPUMA

Para el Control Bulking y Control Espuma se describe el procedimiento que se debe realizar en las plantas cuando se inicia la proliferación Bulking filamentoso y de espuma en la superficie de los reactores.

Los procedimientos describen la identificación del problema, la aplicación y dosificación para controlar el fenómeno. Estos procedimientos son aplicables a todas las plantas de localidades de aguas servidas de lodos activados de la Subgerencia de Depuración de Aguas Andinas S.A.

### 6.2 Control Bulking

#### 6.2.1 Procedimiento de Identificación de Bulking.

Se puede identificar el Bulking filamentoso a través del índice volumétrico de lodo (medida visual) y mediante microscopía.

##### 6.2.1.1 Índice Volumétrico de Lodo (IVL)

Es el parámetro utilizado para medir la sedimentabilidad del lodo. Representa el volumen en mililitros que ocupa 1g de lodo después de 30 minutos de decantación.

Para medir el IVL se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se debe determinar previamente la concentración de sólidos suspendidos totales (SST).
2. Se debe tomar una muestra de 1litro de licor mezcla del reactor. Esta muestra se debe tomar a los 5 minutos iniciada la aireación, a comienzo del ciclo.
3. La muestra de licor mezcla (1 litro) se debe colocar en una probeta graduada, se agita la muestra y se deja reposar durante 30 minutos, como se muestra en la figura 6-1.
4. Al finalizar los 30 minutos, se registra el volumen ocupado por el lodo ( $V_{30}$ ).

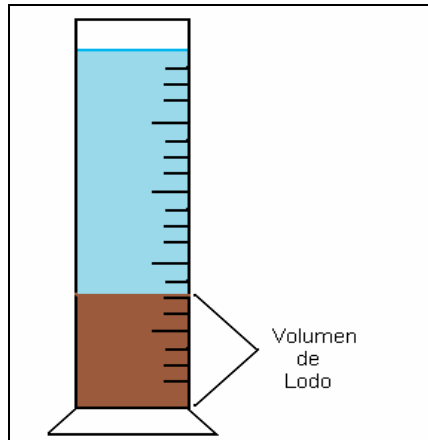


Figura 6-1 Probeta con la muestra después de 30 minutos.

5. Finalmente se determina el IVL introduciendo los valores en la ecuación 6.1.

$$IVL = \frac{V_{30}}{SST} \left( \frac{ml}{g} \right) \quad (6.1)$$

6. Si el valor de IVL es superior a 200 ml/g, indica un exceso de bacterias filamentosas y una mala sedimentabilidad del lodo. Luego se debe realizar un análisis microscópico, si el grado de abundancia es superior a 3, se debe realizar un control Bulking.

### 6.2.1.2 Análisis de Microscopia de Lodo activado

Para realizar el análisis microscópico se deben seguir los siguientes pasos:

1. *Procedimiento de toma de muestra:* se debe tomar una muestra de lodo mezcla del reactor. Esta muestra se debe tomar a los 5 minutos iniciada la aireación, a comienzo del ciclo.
2. *Manejo de muestra:* la muestra de licor mezcla se debe colocar en un frasco plástico esterilizado con tapa. Este frasco debe ser rotulado, como se muestra en la figura 6-3, especificando la fecha, reactor y muestra que fue tomada.

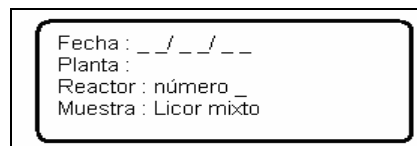


Figura 6-2 Rotulo de la muestra.

3. La muestra fresca debe mantenerse refrigerada hasta ser llevada a analizar al microscopio.
4. Para el análisis microscópico se debe agitar la muestra (para homogenizarla), y con un gotario tomar una muestra y depositar una gota en el portaobjetos del microscopio (lámina rectangular de vidrio, donde se coloca la muestra a analizar). Para el análisis microscópico se debe llenar la hoja del Anexo D.
5. Luego del análisis microscópico se debe documentar y registrar lo analizado en los registros generales de cada planta. Con la microscopia se observa el grado de abundancia de filamentosas, si es superior a 3 se debe realizar un control Bulking.

## **6.2.2 Procedimiento de control Bulking**

### *6.2.2.1 Aplicación Control Bulking*

Se realizará control Bulking cuando se identifique a través de microscopía un grado de abundancia de bacterias filamentosas superior a 3, ya que sobre este grado la abundancia de filamentosas afecta a la sedimentabilidad de lodo.

Procedimiento control Bulking:

1. Se aplicará en el licor mezcla Hipoclorito de sodio. La dosis a aplicar será de 4 gr Cl/(kg SSV\*Día).
2. Mantener la aplicación durante una edad y media de edad del lodo como mínimo. Controlar tomando muestras de licor mezcla cada tres días, para observar el avance del control Bulking.
3. Documentar los resultados del procedimiento de control Bulking.



### 6.2.2.2 Lista de verificación de parámetros de proceso.

Se debe verificar y encontrar el parámetro causante del problema, para esto se deben revisar las variables que podrían estar afectando, para lo cual se debe completar la lista de chequeo en tabla 6-1.

Variables	SI	NO	Observaciones
Alto tiempo de retención hidráulica (más de una edad de lodo)			
Mala remoción de Aceite y Grasas en el Pretratamiento, sobre 20mg/L			
Relación F/M, bajo 0.80			
Concentración de Oxígeno, bajo 2 mg/L			
Temperatura, bajo 16°C			
Retornos de la Centrifuga, SST sobre 60 mg/L			
Retornos del Espesador, SST sobre 60 mg/L			

Tabla 6-1 Lista de verificación de parámetros de Procesos.

## 6.3 Control Espuma

El control de espuma en la superficie se debe realizar mediante la aspersion de antiespumante o Hipoclorito de sodio, teniendo estos diferentes efectos:

- Antiespumante Versinqui Bet-50: se debe usar cuando la cantidad de grasa sobrenadante sea abundante, principalmente en eventos graves donde se requiera rápidos tiempo de respuesta (3 días desaparece la espuma). Mediante la aspersion de Antiespumante se disuelven los aceites y grasas y se elimina las bacterias filamentosas que provocan la espuma.
- Hipoclorito de Sodio: se debe usar cuando la capa de espuma sea delgada y tenga poca cantidad de grasa, tiene un tiempo de respuesta más largo, ya que al agregar por aspersion hipoclorito en la superficie, la espuma desaparece en un tiempo aproximado de 2 semanas, eliminando las bacterias filamentosa que provocan la espuma.

### 6.3.1 Procedimiento de Identificación de Espuma

Se puede identificar la espuma visualmente y se debe realizar un análisis de microscopia para identificar la causa.

#### 6.3.1.1 Visualización de la Espuma

La espuma se puede ver a simple vista, como se observa en las figuras 6-3, 6-4 y 6-5, esta se comienza a instalar en la superficie del reactor con una pequeña capa, la cual con el tiempo comienza a ser más densa. Los microorganismos filamentosos formadores de espuma se acumulan en la superficie haciendo que esta capa crezca de grosor, no se mezcla con el resto de licor y prácticamente no es purgada del sistema.

Descripción y problemática de la espuma:

- Se produce una espuma densa y viscosa en la superficie de los reactores biológicos.
- Reactor completo de espuma, pasando parte de esta al efluente de la planta.
- La cantidad de espuma puede aumentar desbordando los muros e invadir el entorno.
- Se producen zonas resbaladizas, peligrosas para el personal.
- La espuma se seca y luego huele mal.
- Se produce la acumulación de flotantes en la espuma.
- En algunos casos el efluente pierde calidad al aumentar la turbiedad producida por filamentos cortos libres que se fugan con el efluente.



Figura 6-3 Espuma superficial Los Trapenses.



Figura 6-4 Espuma superficial Curacaví.



**Figura 6-5 Espuma superficial en el efluente.**

### 6.3.1.2 *Análisis de microscopía de Espuma*

Para realizar el análisis microscópico se deben seguir los siguientes pasos:

1. *Procedimiento de toma de muestra:* se debe tomar una muestra de espuma de la superficie del reactor. Esta muestra se debe tomar durante la sedimentación o cuando termine la aireación.
2. *Manejo de muestra:* la muestra de espuma superficial se debe colocar en un frasco plástico esterilizado con tapa. Este frasco debe ser rotulado como se muestra en la figura 6-6, especificando la fecha, reactor y muestra que fue tomada.

Fecha : __/__/__
Planta :
Reactor : número _
Muestra : Espuma

**Figura 6-6 Rotulo de la muestra.**

3. La muestra fresca debe ser llevada a analizar al microscopio en un recipiente refrigerado
4. Para el análisis microscópico se debe agitar la muestra (para homogenizarla) y en un pocillo colocar una pequeña muestra de espuma y se disuelve con agua. Luego a

través de un gotario tomar una muestra disuelta y depositar una gota en el portaobjetos del microscopio (lámina rectangular de vidrio, donde se coloca la muestra analizar). Con el resultado del análisis microscópico se debe llenar la hoja del Anexo D.

5. Los resultados del análisis microscópico se deben documentar en los registros generales de cada planta.

## **6.3.2 Procedimiento control Espuma**

### *6.3.2.1 Aplicación Control Espuma*

Se realizará control espuma cuando en el reactor se observe un alto nivel de espuma, densa y viscosa que cubra completamente al reactor.

Procedimiento control Espuma:

1. Se aplicará Antiespumante o Hipoclorito de sodio.
2. El antiespumante o Hipoclorito de sodio se aplicará por aspersión, de forma que las gotas se mezclen en agua presurizada y se aplica en la superficie de los reactores.
3. La dosis de aplicación será de 60 L/día.
4. El tiempo de aplicación será para el caso de Antiespumante de 6 días y para Hipoclorito 2 semanas.
5. Documentar los resultados del procedimiento de control espuma.

### 6.3.2.2 Lista de verificación de parámetros de proceso

Se debe verificar y encontrar el parámetro causante de la espuma superficial en el reactor, para esto se deben revisar las variables que podrían estar afectando, para lo cual se debe completar la lista de chequeo en tabla 6-2.

VARIABLES	SI	NO	OBSERVACIONES
Alto tiempo de retención hidráulica (más de una edad de lodo)			
Mala remoción de Aceite y Grasas en el Pretratamiento, sobre 20mg/L			
Temperaturas, bajo 16°C			

**Tabla 6-2 Lista de verificación de parámetros de Procesos.**

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo los objetivos planteados en esta investigación se identificaron las principales variables de proceso que favorecen la proliferación del Bulking Filamentoso, pudiéndose cumplir lo trazado en el segundo y tercer objetivo, identificándose las causas y efectos de éste. Las causas que perjudican a la sedimentabilidad del lodo y hacen que proliferen bacterias filamentosas son: los aumentos de aceites y grasas provenientes del pre-tratamiento, déficit de oxígeno, déficit de F/M, malos retornos de centrífuga y espesador y una disminución en la temperatura. Los efectos de una mala sedimentabilidad en el proceso son: la disminución del cloro residual y del porcentaje de materia seca de lodo deshidratado, a consecuencia de la proliferación de bacterias filamentosas. Además se pudo cumplir el primer objetivo donde se documentó fotográficamente las observaciones microscópicas del lodo durante el trabajo de investigación.

Se incorporó la microscopía como herramienta de control de proceso, para establecer una correspondencia de la variable operacional que causa la aparición de estas filamentosas, por medio de información de analíticas físicas y químicas que se realizan como parte del autocontrol, tanto normativo como de control de proceso.

Además se reemplaza el indicador de Índice Volumétrico de Lodo (IVL) por grado de abundancia de filamentosas como indicador de la sedimentabilidad del lodo.

Se realizó análisis de costos de control Bulking y de espuma a partir de las experiencias y evoluciones realizadas. Para el control Bulking los costos de insumos disminuyeron 222 US y la sequedad del lodo aumentó 0,4%, ahorrando en deshidratación 3,66 US/m<sup>3</sup> de lodo, mientras que para el Control de espuma los costos de insumos disminuyeron en 83,9 US y la sequedad del lodo aumentó 3,53%, ahorrando en deshidratación 43,96 US/m<sup>3</sup> de lodo.

A partir de las experiencias realizadas de Control Bulking y Control de Espuma, se definieron procedimientos de control de fenómenos aplicables a todas las plantas de localidades de aguas servidas de lodos activados con aireación extendida de la Subgerencia de Depuración de Aguas Andinas S.A.

Por otra parte, se establecen las siguientes recomendaciones:

- Se deben cambiar hábitos operacionales, para asegurar buenos retornos a los reactores. Para esto se debe hacer capacitaciones a los operarios de las plantas, ya que es primordial crear conciencia de la importancia de mejorar el control en terreno del proceso de deshidratación, para así obtener buenos clarificados de centrífuga que no perjudiquen al reactor.
- Es de suma importancia realizar mediciones de pérdida de carga de aire en la línea del soplador y en la parrilla de aireación de los difusores, ya que podría estar desgastado el soplador o podría haber problemas en los difusores, ya que una de las causas de la proliferación de filamentosas que se ha identificado en esta investigación es la deficiencia de oxígeno presente en los reactores.
- Se debe cambiar el límite inferior del rango de F/M [0.05-0,15] a uno superior de [0.08-0.15], ya que con valores bajo 0.08 se perjudica la sedimentabilidad del lodo en el reactor.
- Se sugiere medir la turbiedad del efluente a la entrada de la cámara de contacto, y a través de este parámetro dosificar el cloro para la desinfección, ya que en las plantas de Paine y Los Trapenses no se corrige la consigna de dosificación de cloro.
- De acuerdo a las observaciones realizadas en el microscopio se recomienda realizar pruebas a nivel de laboratorio para inducir Bulking. Para corroborar si los altos tiempos de retención hidráulica inciden en la proliferación de Bulking.
- Se sugiere realizar pruebas para ajustar la dosificación y determinar el tiempo mínimo de aplicación de Hipoclorito de sodio para el control Bulking.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2002. Decreto Supremo N° 90 del Ministerio secretaria general de la presidencia. Chile
- Trumper R., Q.F. Samuel. Microscopía de Lodos Activados: Usando el microscopio como herramienta de control en las plantas de tratamiento de aguas servidas. 2005.
- “Ingeniería de Aguas Residuales”, Metcalf & Eddy, INC., Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill. 2001. páginas 409 a 504.
- “Tratamiento de Aguas Residuales”, R.S. Ármalo, Editorial Reverté S.A. 1987. páginas 91 a 154 y 313 a 348
- “Handbook of water and wastewater Treatment Technologies”, Nicholas P. Cheremisinoff, Editorial Butierworth Heinemann. 2002. páginas 158 a 214.

### Páginas Web:

- <http://personal.telefonica.terra.es/web/ayma/atlas.htm> (última visita 20/05/09)
- <http://www.lodoactivado.netfirms.com> (última visita 12/08/09)
- <http://www.suez-environnement.fr/> (última visita 23/11/09)



## **9. ANEXO**

### **A. Anexo Planta de Curacaví**

#### **A.1 Causas de la proliferación de Bulking filamentoso**

En las Figuras 9-1, 9-2, 9-3 y 9-4 se observan las causas de la proliferación de bacterias filamentosas, a través del grado de compactación del lodo, IVL (Índice volumétrico de lodo), de datos de proceso obtenidos de los registros generales de la planta Curacaví y los datos entregados por ANAM (Laboratorio de análisis ambientales) de efluente de pretratamiento y los retornos que llegan a los reactores desde Abril hasta Agosto. EL IVL es calculado con los resultados de SST (sólidos suspendidos totales) de ANAM.

- En la Figuras 9-1 se observa que a medida que aumenta las concentraciones de AYG del pre-tratamiento aumentan los valores del IVL, por lo que los aumentos de concentración perjudican directamente a la sedimentación en el reactor.
- En la Figura 9-2 se observa que a medida que disminuye la relación de F/M el IVL aumenta, por lo que a medida que disminuye esta relación se produce una mala sedimentación en el reactor.
- En la Figura 9-3 se observa que a medida que aumentan las concentraciones de los retornos del espesador aumenta el IVL, perjudicando directamente a la sedimentación en el reactor.
- En la Figura 9-5 se observa que a medida aumentan las concentraciones de los SST y DQO de los retornos de la centrifuga aumenta el IVL, por lo que los aumentos de concentración de SST y DQO perjudican directamente a la sedimentación en el reactor.

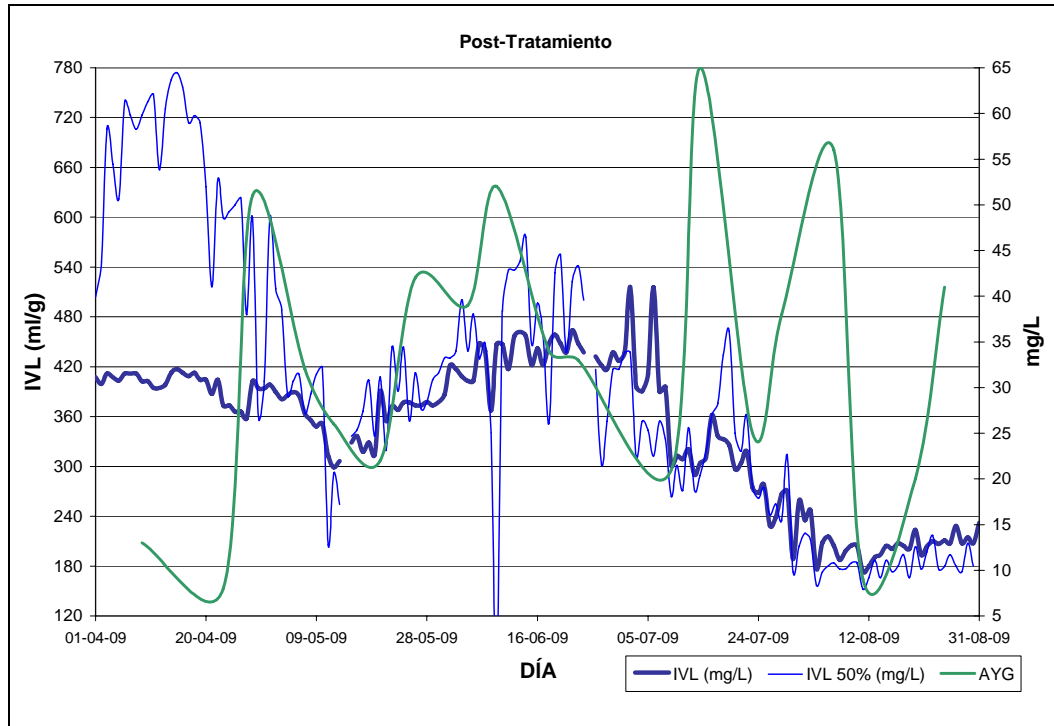


Figura 9-1. Efectos de AYG del Pre-tratamiento en el IVL.

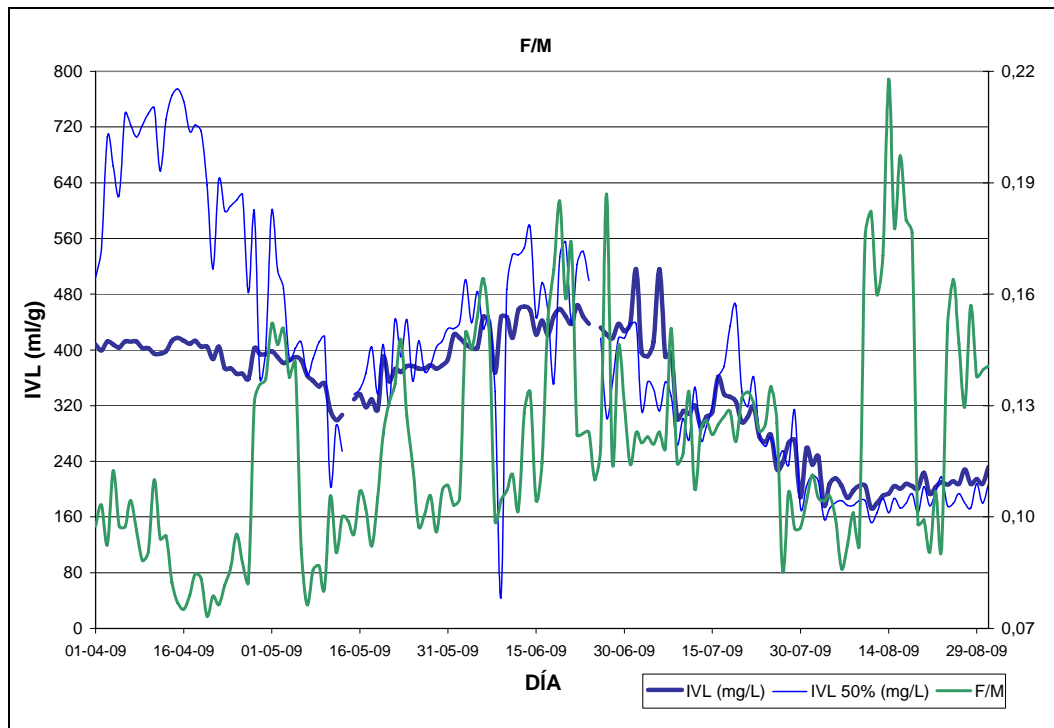


Figura 9-2. Efectos del F/M en el IVL.

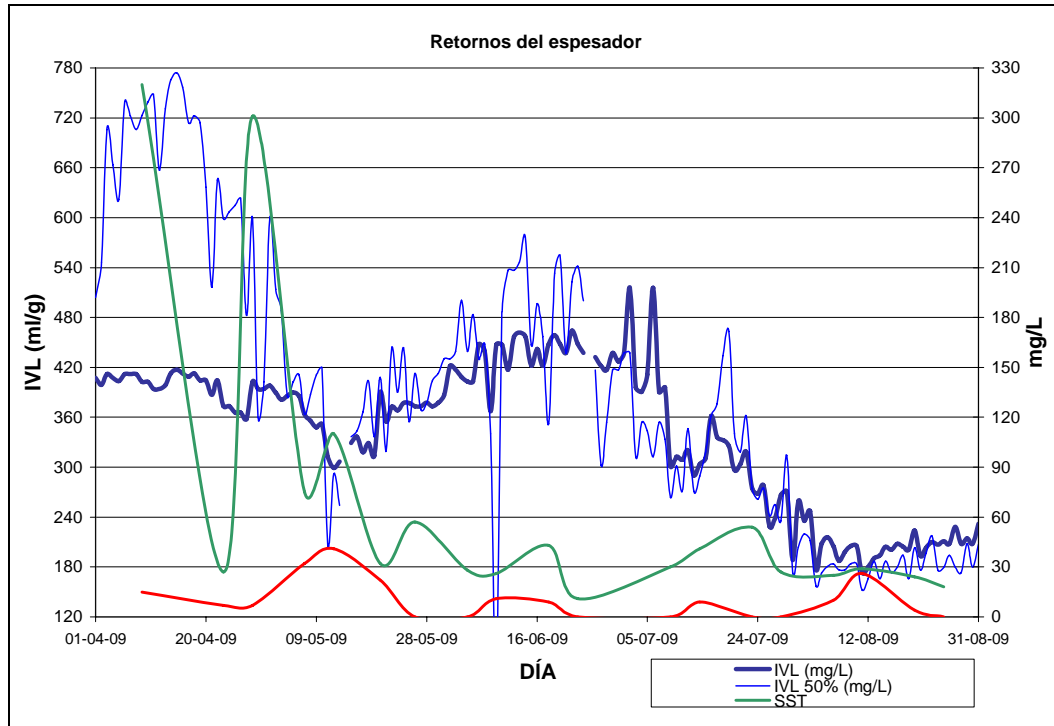


Figura 9-3. Efectos de los retornos del espesador en el IVL.

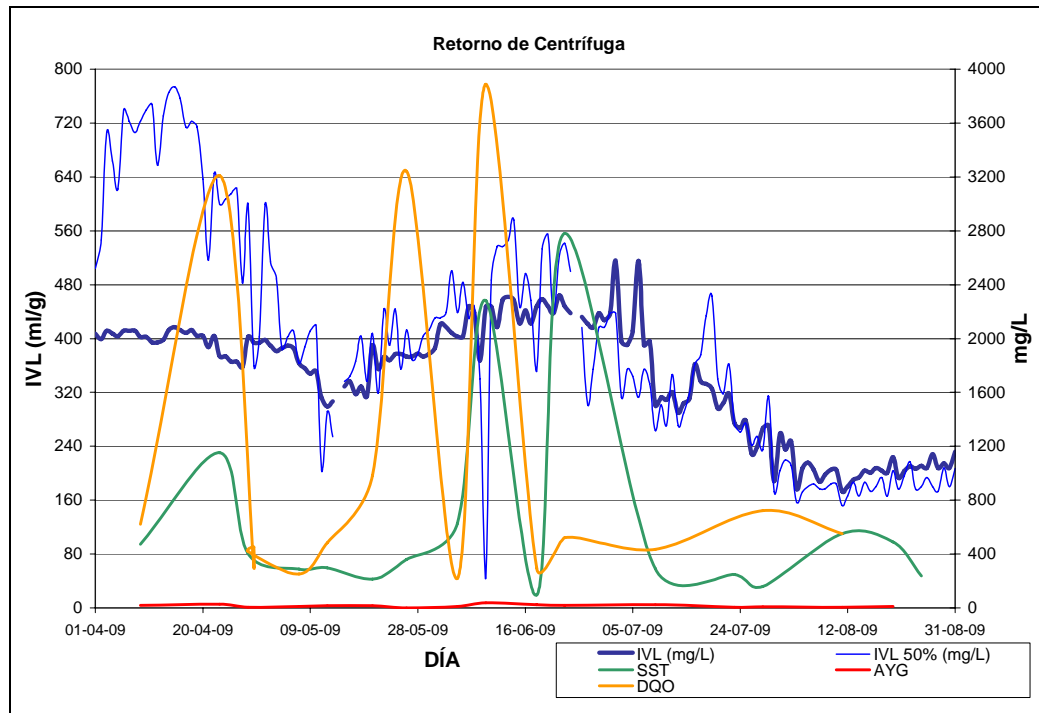


Figura 9-4. Efectos de los retornos de la centrifuga en el IVL.

## A.2 Efectos de la proliferación del Bulking filamentoso

En las Figuras 9-5 y 9-6 se muestran los efectos de la proliferación de bacterias filamentosas, a través del grado de compactación del lodo (IVL) de los reactores obtenidos de los registros generales de la planta Curacaví desde Abril hasta Agosto. EL IVL es calculado con los resultados de SST de ANAM.

- En la Figura 9-5 se observa que a medida que hay una mala sedimentabilidad en el reactor y por ende un aumento en el IVL, hay un mayor consumo de cloro en la cámara de contacto y por esto menor concentración de cloro residual en el efluente que sale de la planta.
- En la Figura 9-6 se observa que a medida hay una mala sedimentabilidad en el reactor producto del Bulking filamentoso y por ende un aumento en el IVL, el porcentaje de materia seca de los lodos deshidratados es menor, ya que es mas difícil deshidratar.

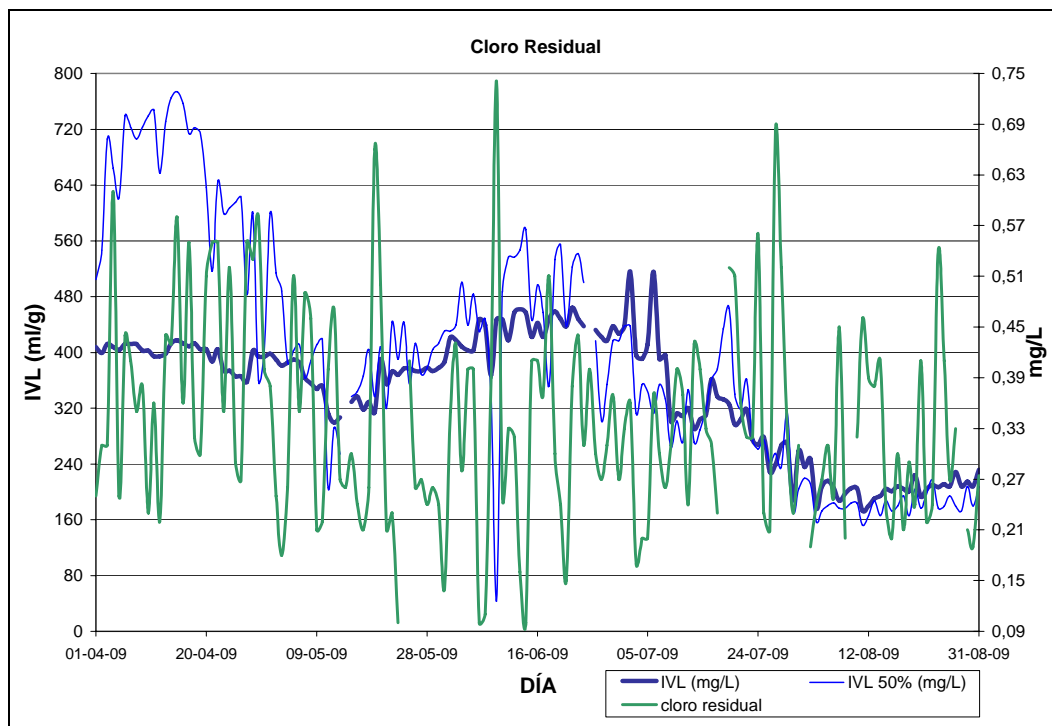


Figura 9-5. Cloro residual.

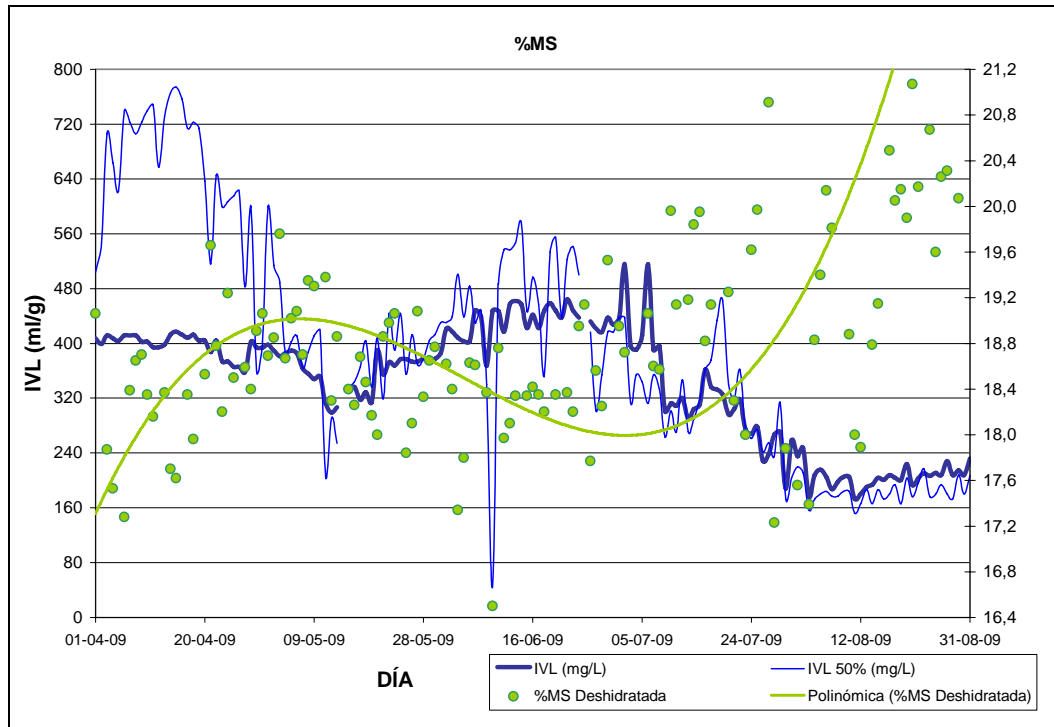


Figura 9-6. %MS Deshidratada.

### A.3 Análisis de datos de Potencial de Oxido-Reducción

Se observan las figuras 9-7, 9-8, 9-9, 9-10 y 9-11 de Potencial de Oxido-Reducción, desde Abril hasta agosto, estas son las curvas más representativas de cada uno de estos meses. La medición se realizó a comienzo del ciclo, en aireación.

En las Figuras 9-7 y 9-10 se observa una remoción completa de carbono y una remoción parcial de Nitrógeno y en las Figuras 9-8, 9-9 y 9-10 se observa una remoción parcial de carbono y una remoción parcial de Nitrógeno. En estas figuras se evidencia un déficit de oxígeno para una completa oxidación de los lodos y una buena calidad en el proceso.

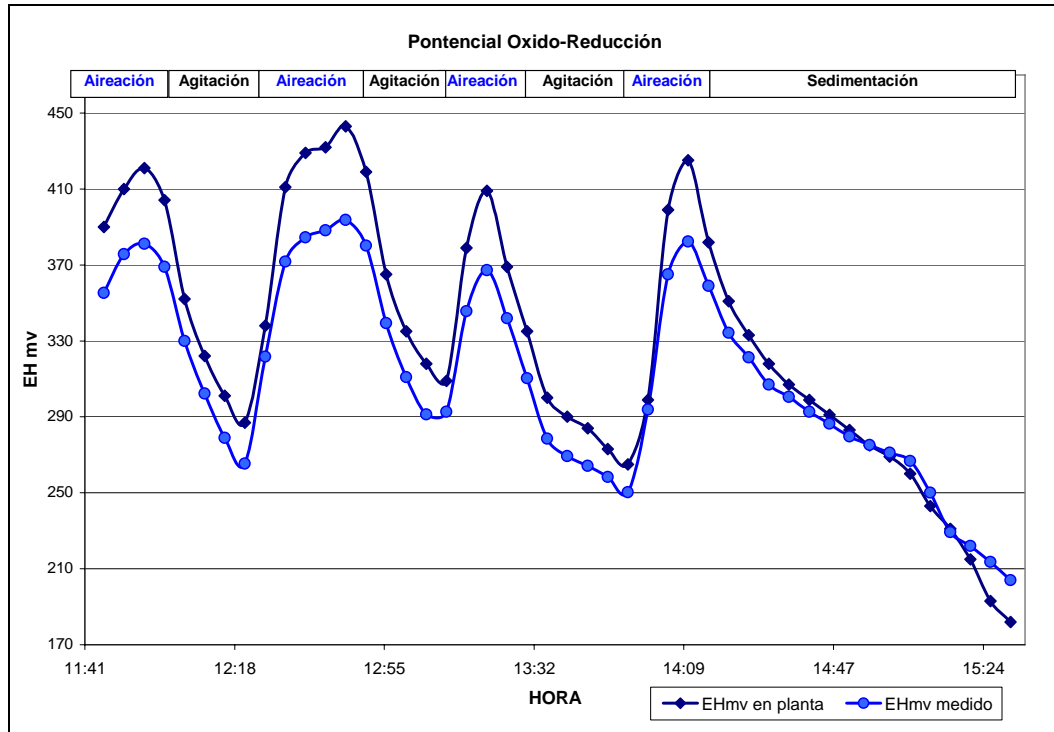


Figura 9-7. Medición POR Abril.

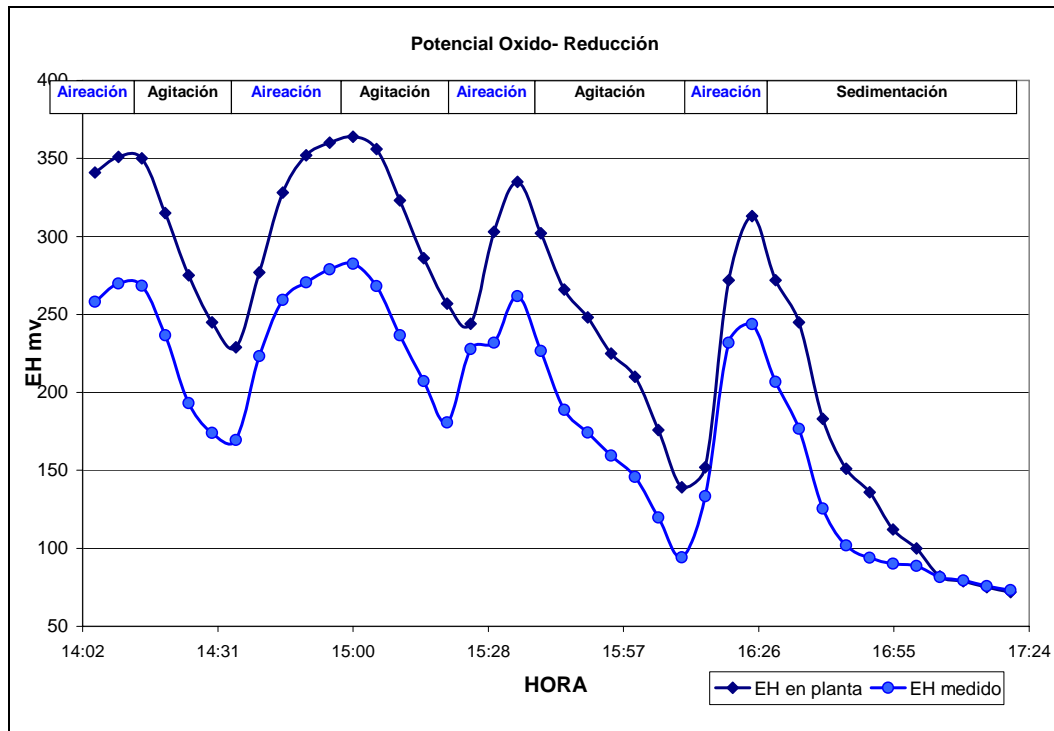


Figura 9-8. Medición de POR Mayo.

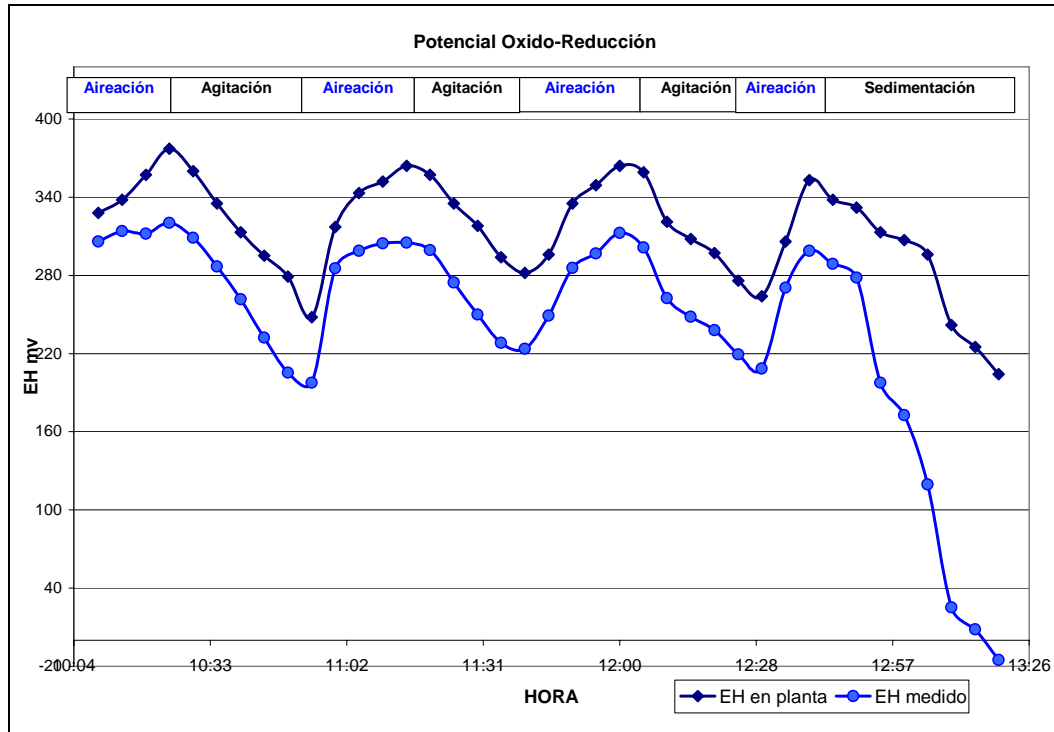


Figura 9-9. Medición de POR mes de Junio.

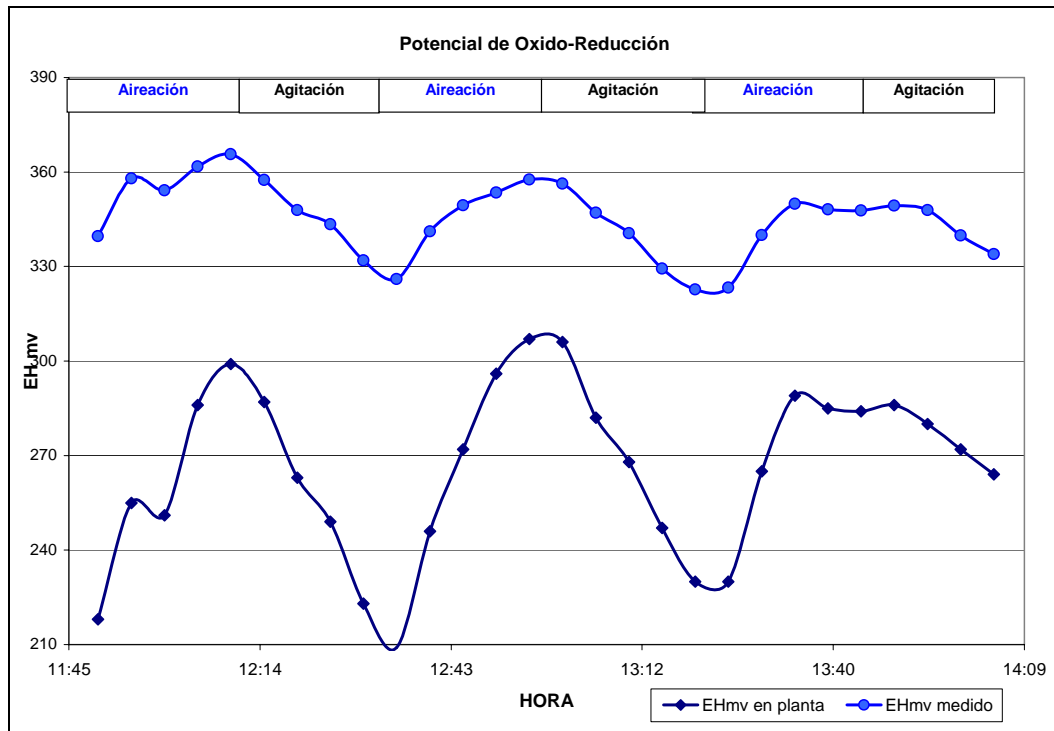


Figura 9-10. Medición de POR mes de Julio.

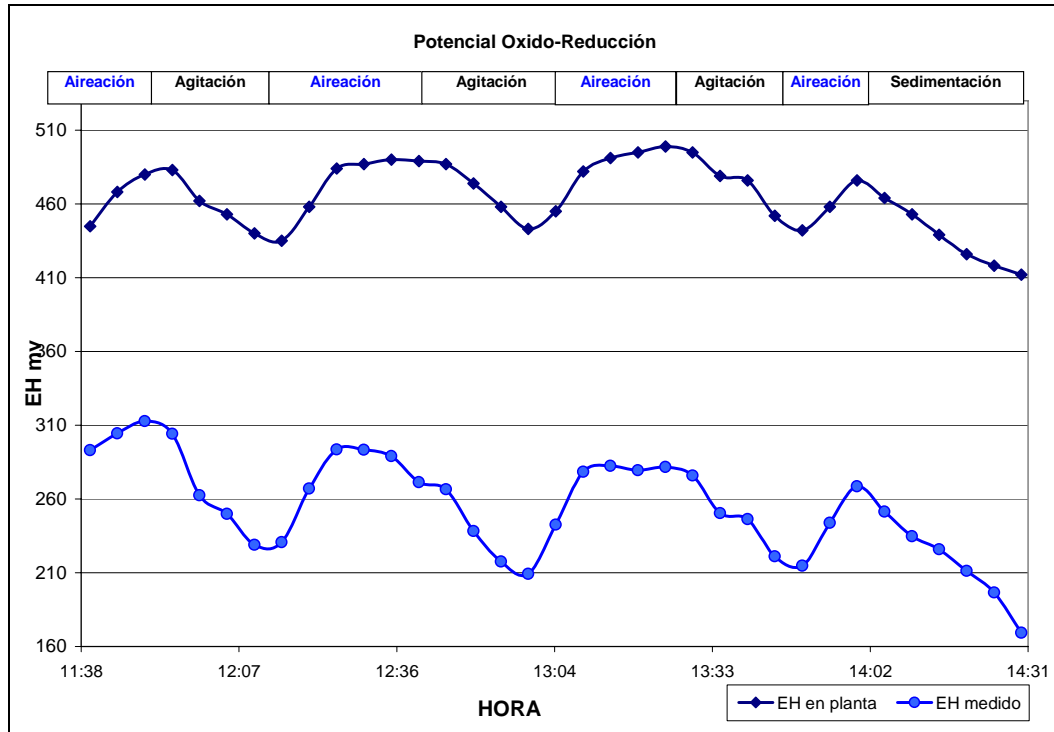


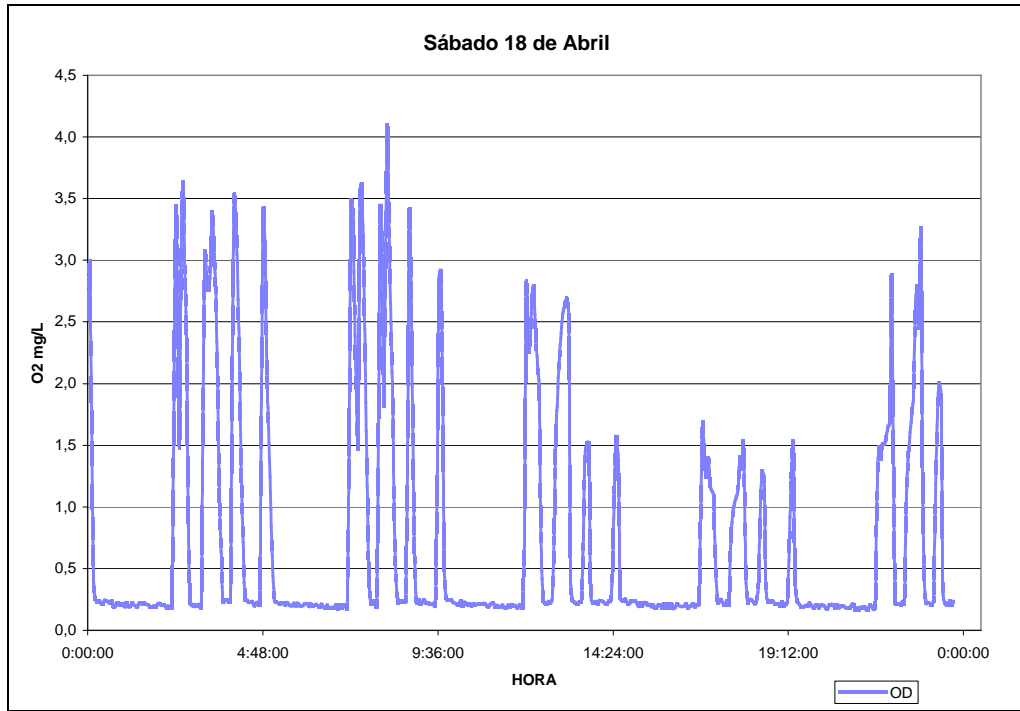
Figura 9-11. Medición de POR mes de Agosto.

#### A.4 Análisis de datos de OD

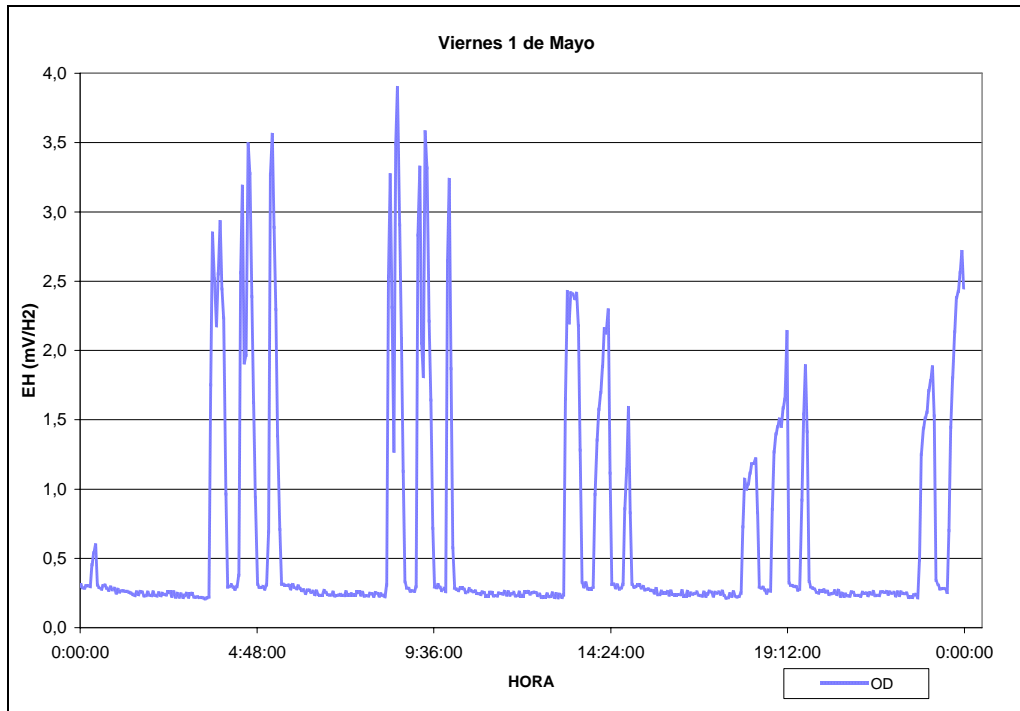
A través de los datos de SCADA de la PTAS de Curacaví, se obtienen los datos de OD de cada reactor, el que rescata los datos durante las 24 horas del día. Las siguientes figuras muestran la curva de las 24 horas de un día, donde se eligió la curva con mayor deficiencia del mes de oxígeno disuelto.

A partir de la Figura 9-12 hasta la Figura 9-16 se observan las concentraciones de oxígeno obtenidos de SCADA desde Abril hasta Agosto. En las Figuras se observa que durante el período de alta carga del reactor se produce una deficiencia de oxígeno, entre Abril y Mayo a un promedio de 1.5 mg/L, y durante Junio hasta Agosto desde las 09:30 hasta las 00:00 horas baja la concentración de oxígeno a un promedio de 2mg/L, concentraciones bajo el valor de consigna (2.5 mg/L).





**Figura 9-12. Datos del mes de Abril de OD.**



**Figura 9-13. Datos del mes de Mayo de OD.**

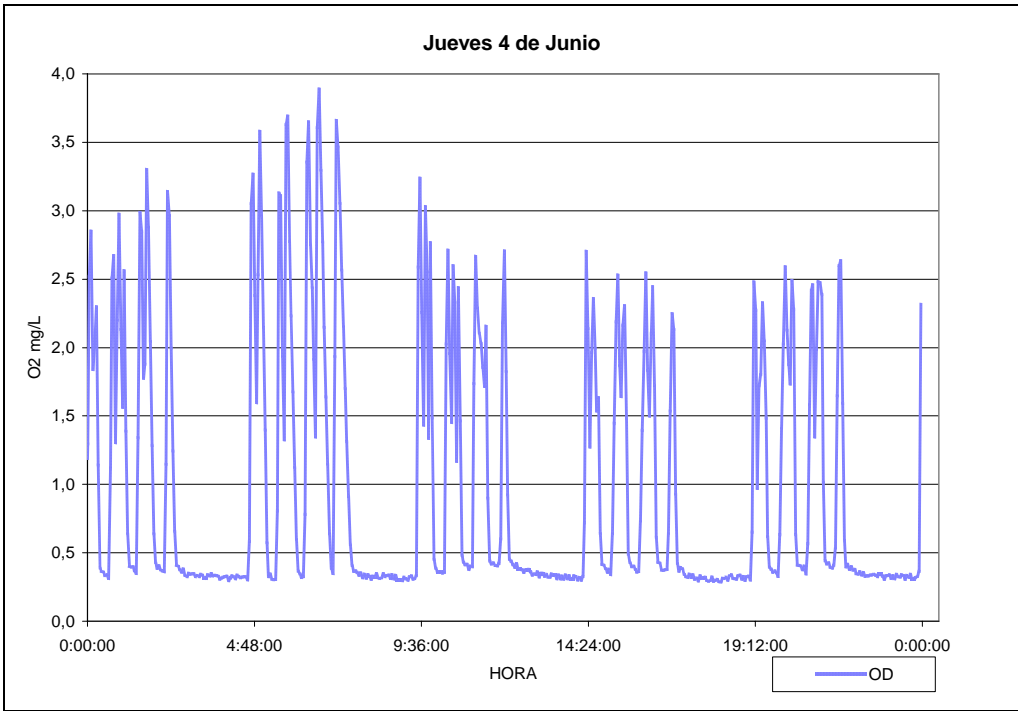


Figura 9-14. Datos del mes de Junio de OD.

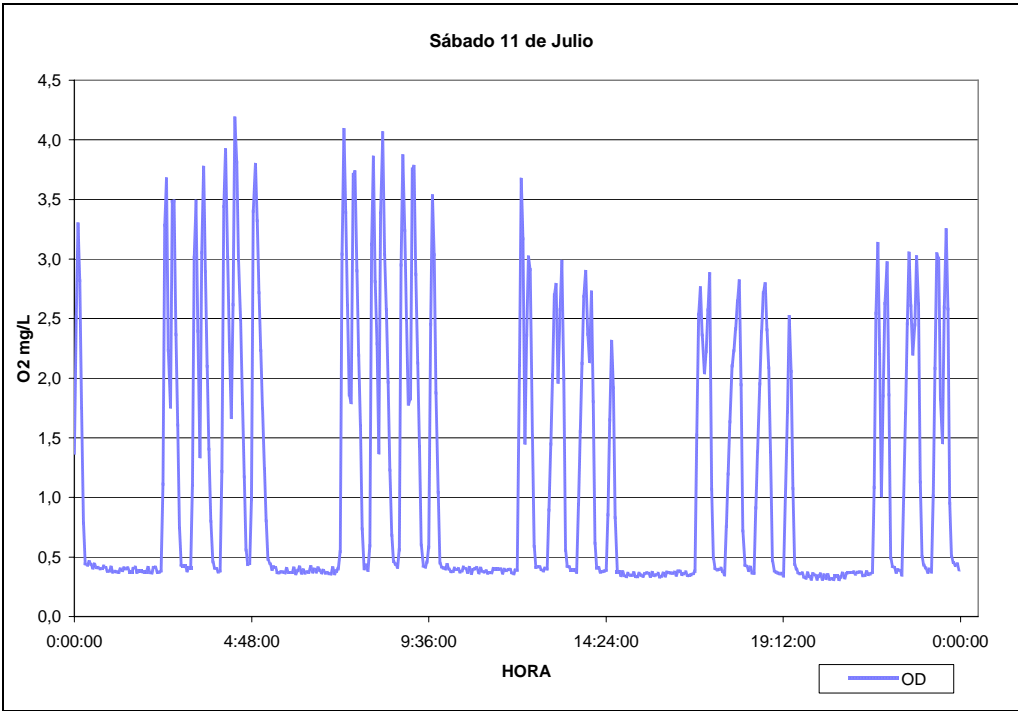


Figura 9-15. Datos del mes de Julio de OD.

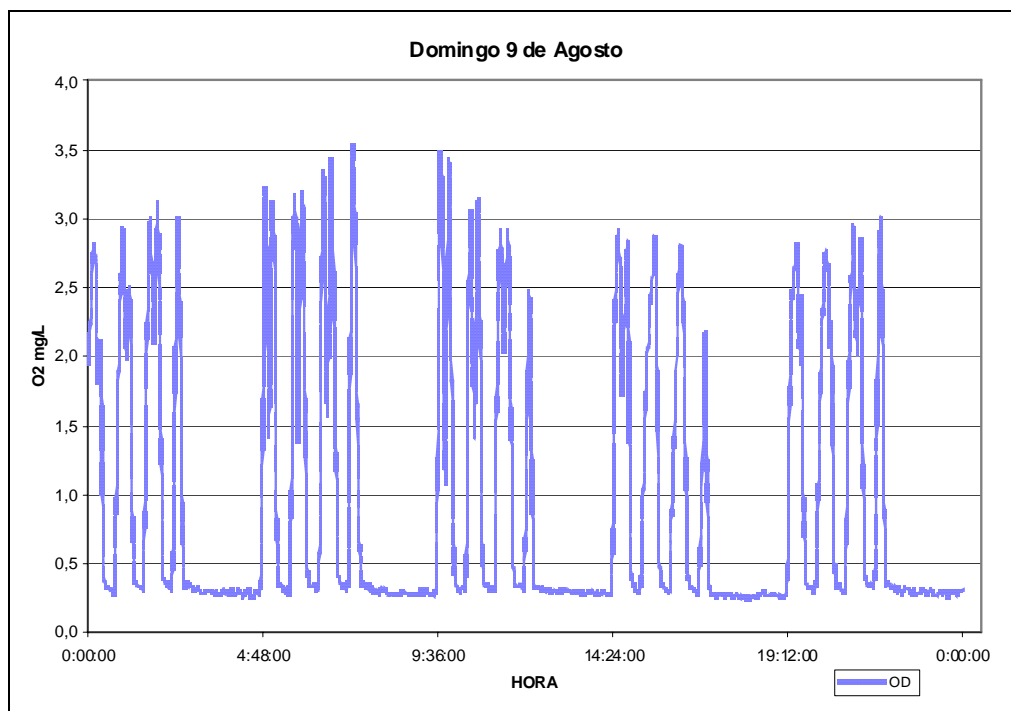


Figura 9-16. Datos del mes de Agosto de OD.

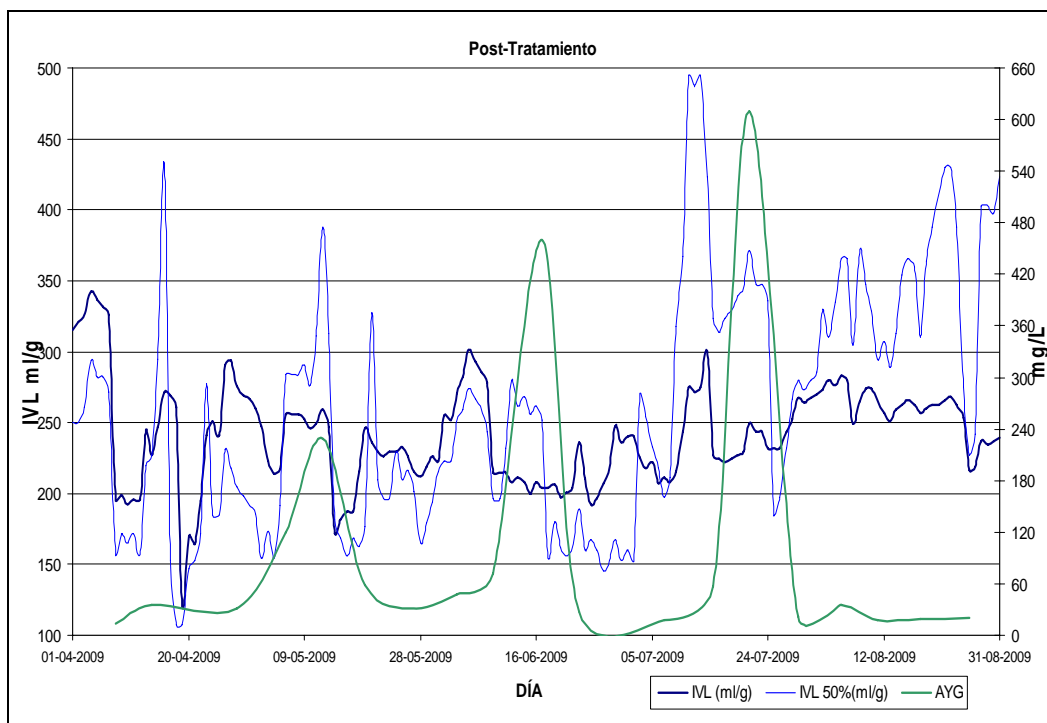
## B.- Anexo Planta Paine

### B.1 Causas de la proliferación de Bulking filamentoso

En figuras 9-17, 9-18, 9-19, 9-20 y 9-21 se muestran las causas de la proliferación de bacterias filamentosas, a través del grado de compactación del lodo (IVL) de los reactores obtenidos de los registros generales de la planta Paine y los datos entregados por ANAM de efluente de pretratamiento y los retornos que llegan a los reactores desde Abril hasta Agosto. EL IVL es calculado con los resultados de SST de ANAM.

- En la figura 9-17 se observa que a medida que aumenta las concentraciones de AYG del pre-tratamiento aumentan los valores del IVL, por lo que los aumentos de concentración perjudican directamente a la sedimentación en el reactor.
- En la figura 9-18 se observa que a medida que disminuye la relación de F/M el IVL aumenta, por lo que a medida que disminuye esta relación se produce una mala sedimentación en el reactor.

- En la figura 9-19 se observa que a medida que aumentan las concentraciones de los retornos del espesador aumenta el IVL, perjudicando directamente a la sedimentación en el reactor.
- En la figura 9-20 se observa que a medida aumentan las concentraciones de los SST y DQO de los retornos de la centrifuga aumenta el IVL, por lo que los aumentos de concentración de SST y DQO perjudican directamente a la sedimentación en el reactor.
- En la figura 9-21 se observa que a medida que disminuye la temperatura, se produce un aumento en los valores de IVL, por lo que la disminución de la temperatura perjudica directamente a la sedimentación en el reactor.



**Figura 9-17. Efectos de AYG de Pre-tratamiento en el IVL.**

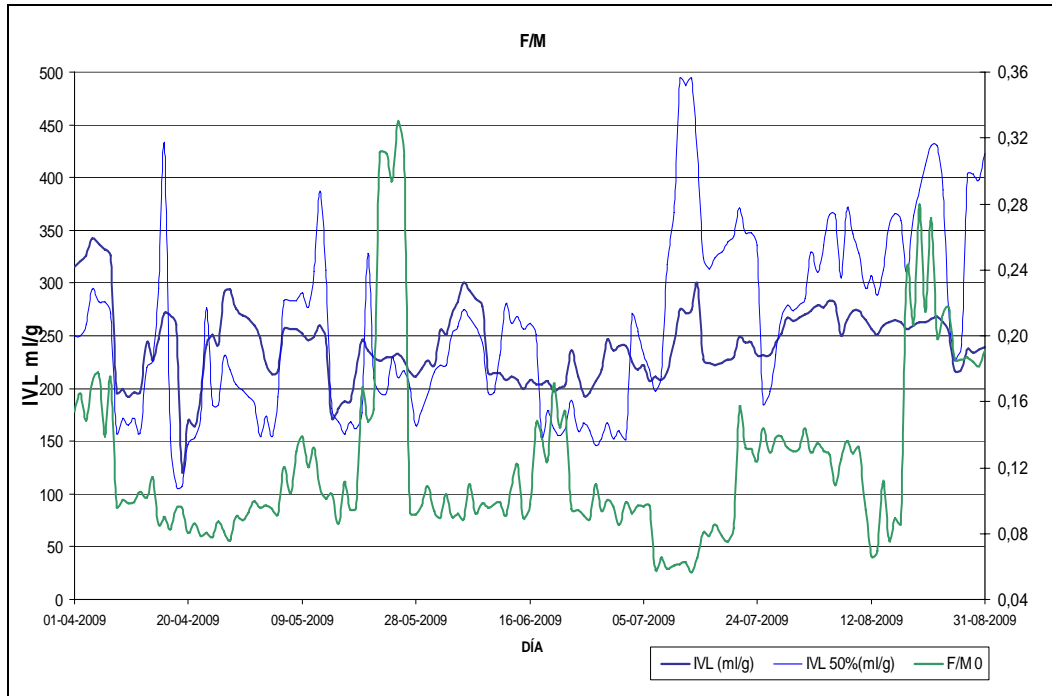


Figura 9-18. Efectos del FM en el IVL.

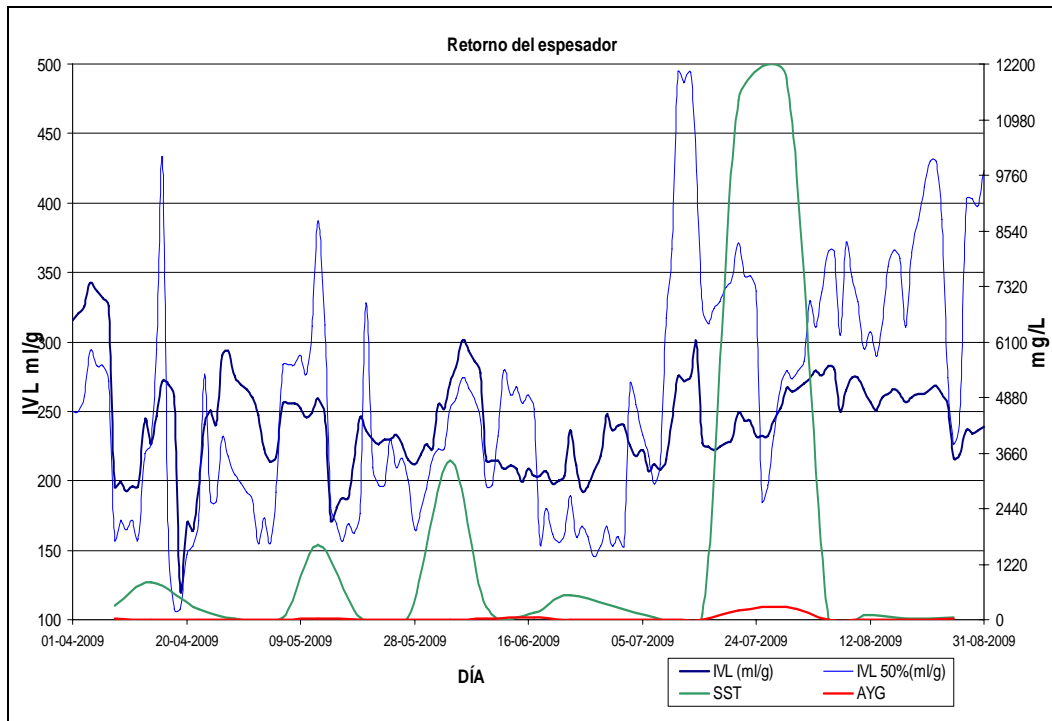
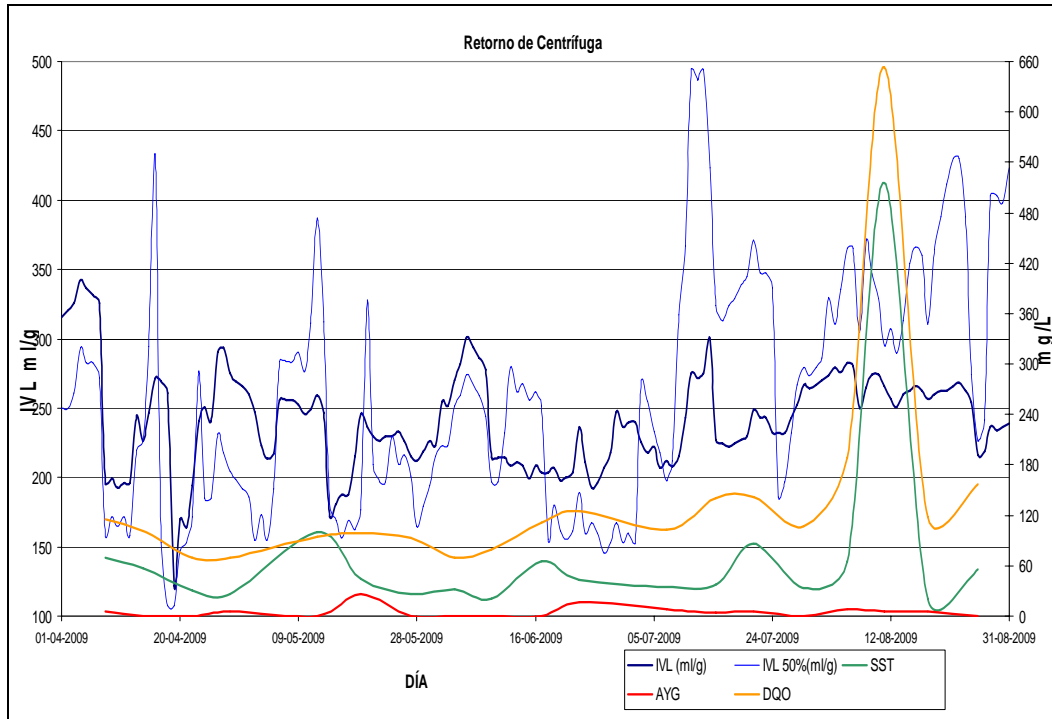
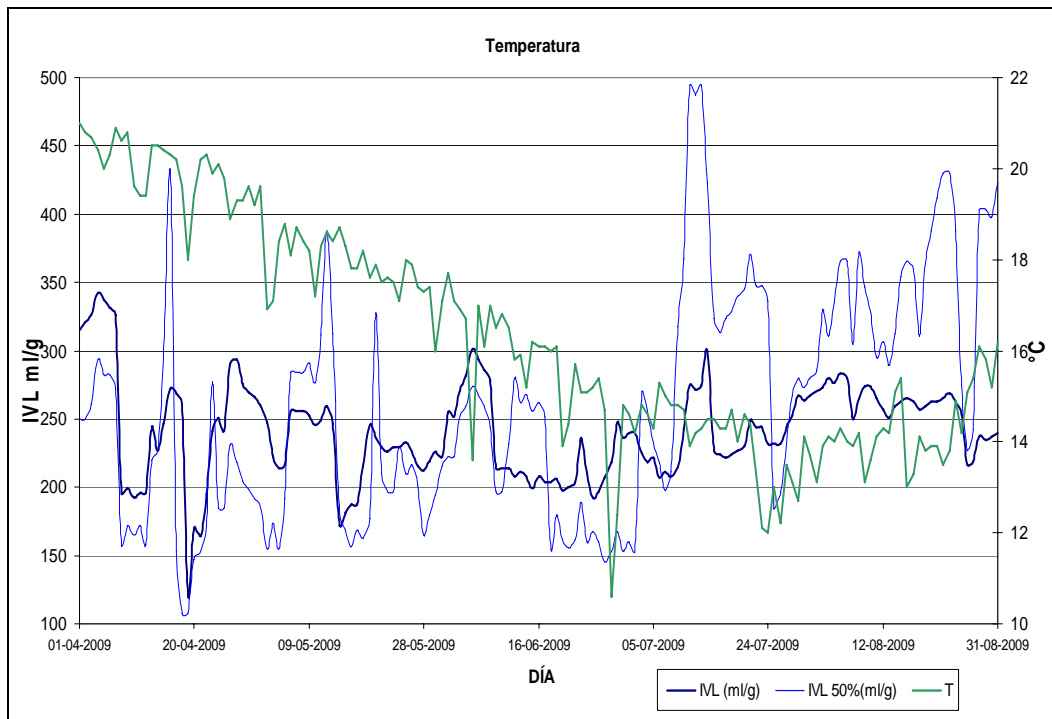


Figura 9-19. Efectos de los retornos del espesor en el IVL.



**Figura 9-20. Efectos de los retornos de la centrífuga en el IVL.**



**Figura 9-21. Efectos de la temperatura en el IVL.**

## B.2 Efectos de la proliferación del Bulking filamentoso

En las figuras 9-22 y 9-23 se muestran los efectos de la proliferación de bacterias filamentosas, a través del grado de compactación del lodo (IVL) de los reactores obtenidos de los registros generales de la planta Paine desde Abril hasta Agosto. EL IVL es calculado con los resultados de SST de ANAM.

- En la figura 9-22 se observa que a medida que hay una mala sedimentabilidad en el reactor y por ende un aumento en el IVL, hay un mayor consumo de cloro en la cámara de contacto y por esto menor concentración de cloro residual en el efluente que sale de la planta.
- En la Figura 9-23 se observa que a medida que hay una mala sedimentabilidad en el reactor producto del Bulking filamentoso y por ende un aumento en el IVL, el porcentaje de materia seca de los lodos deshidratados es menor, ya que es más difícil deshidratar.

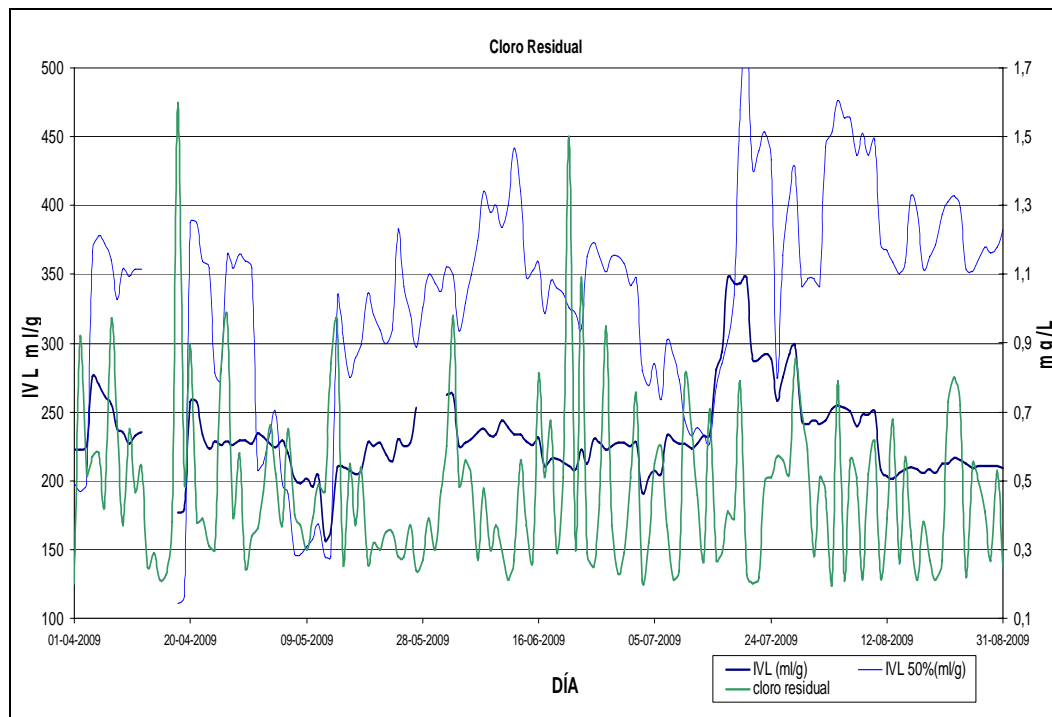


Figura 9-22. Cloro residual.

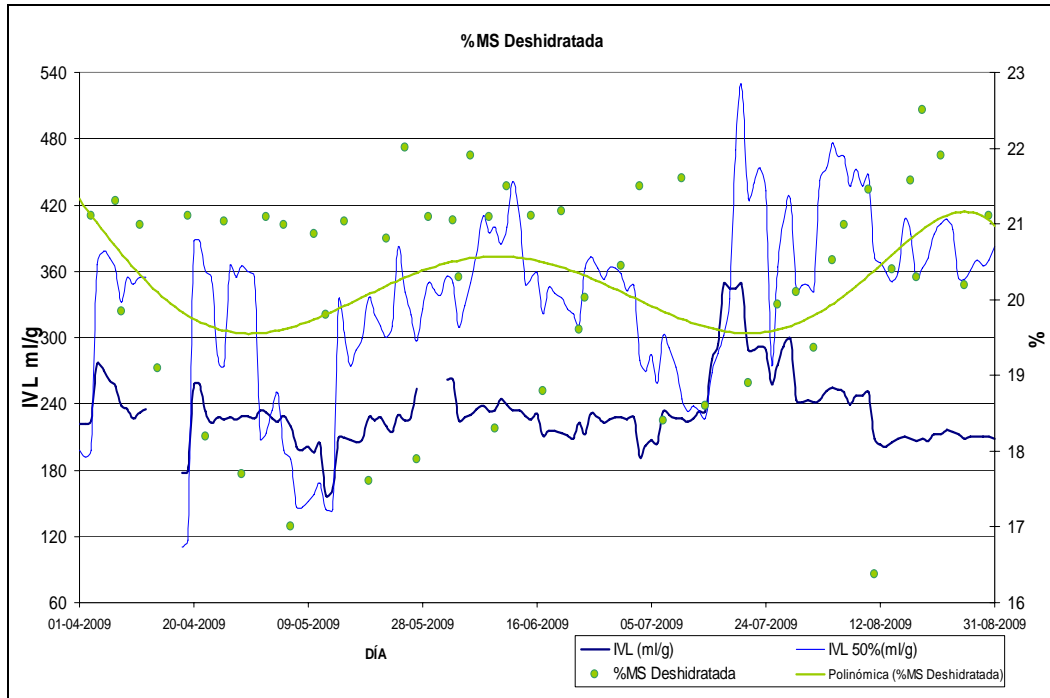


Figura 9-23. %MS Deshidratada.

### B.3 Análisis de datos de POR

Se observan el Potencial de Oxido-Reducción en las figuras 9-24, 9-25, 9-26, 9-27 y 9-28, desde Abril hasta agosto, estas son las curvas más representativas de cada uno de estos meses. La medición se realizó a comienzo del ciclo, en aireación.

En las figuras 9-24 hasta 9-28 se observa una remoción parcial de carbono y una remoción parcial de Nitrógeno. En estas Figuras se evidencia un déficit de oxígeno para una completa oxidación de los lodos y una buena calidad en el proceso.



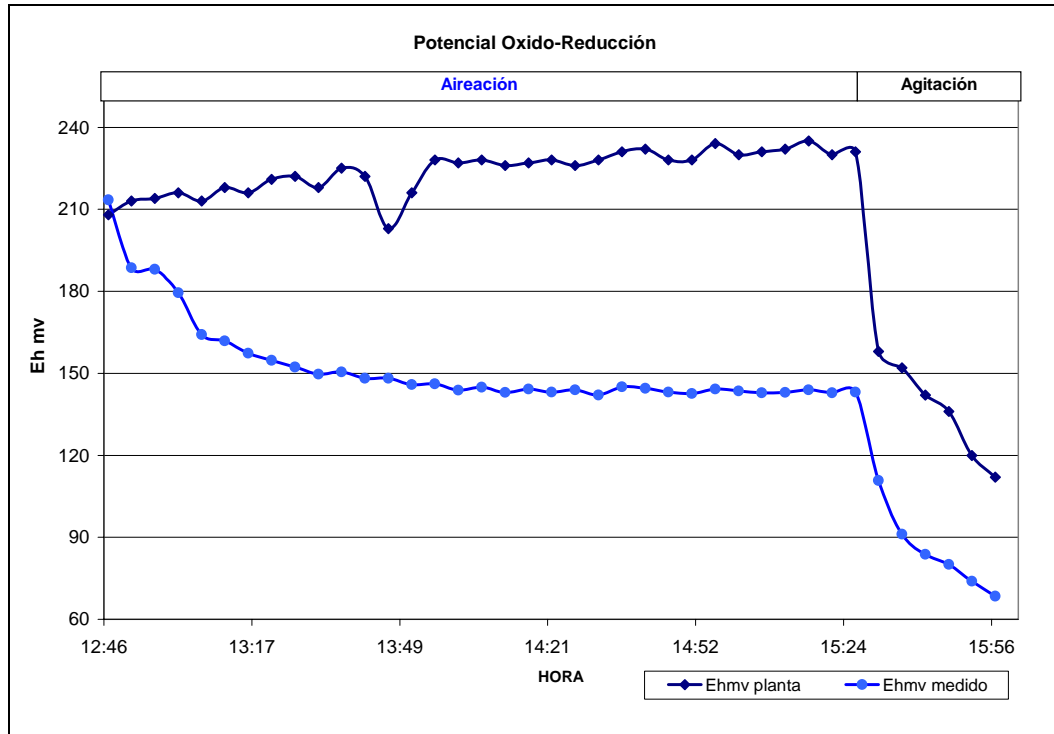


Figura 9-24. Medición POR Abril.

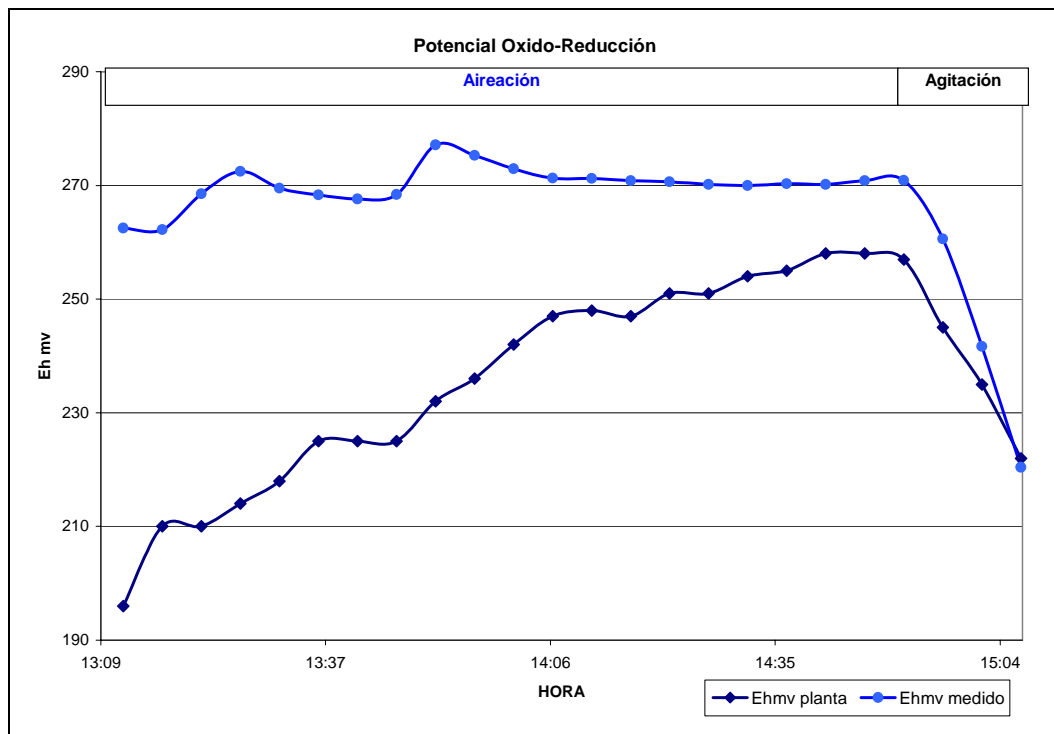


Figura 9-25. Medición POR Mayo.

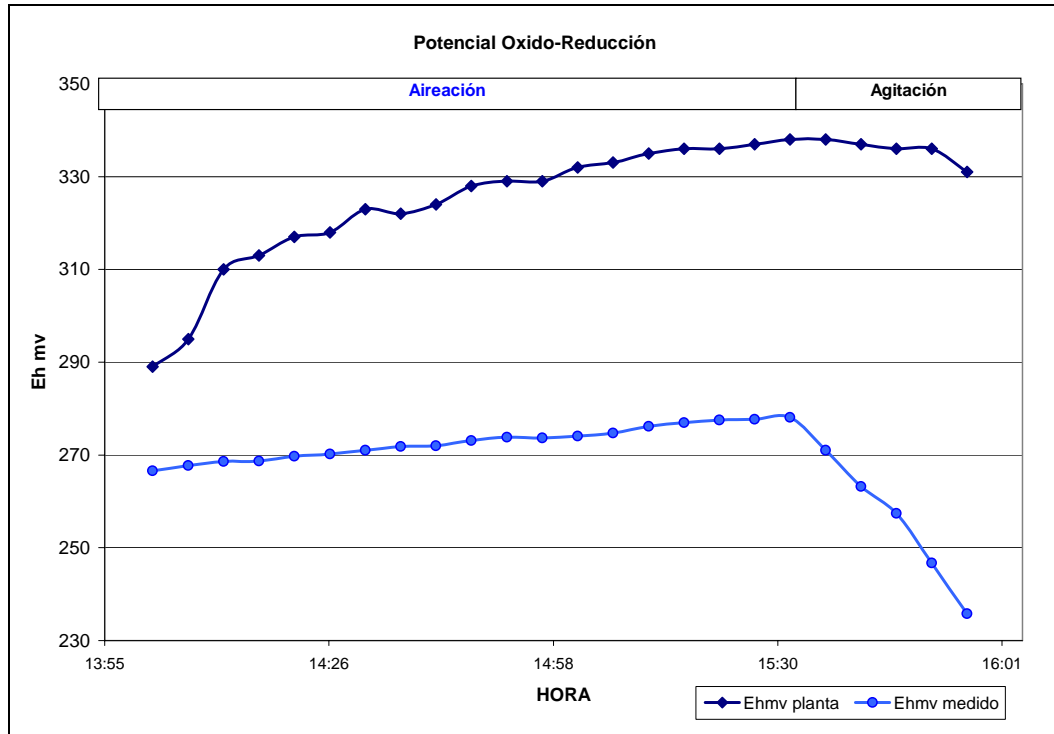


Figura 9-26. Medición POR Junio.

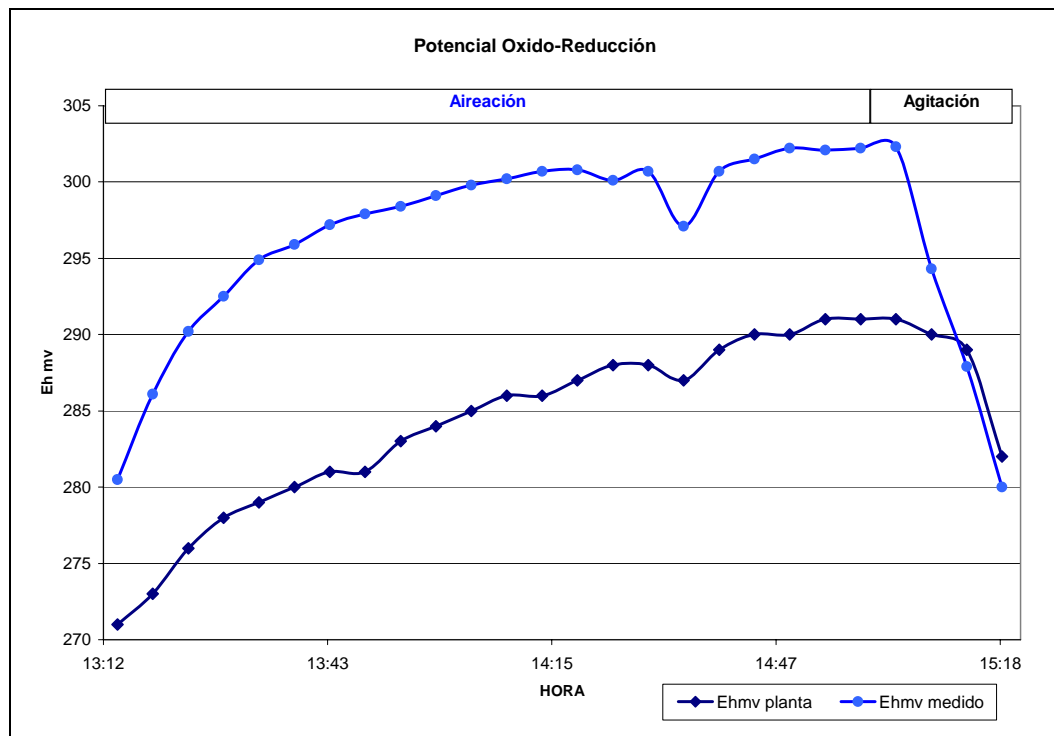


Figura 9-27. Medición POR Julio.

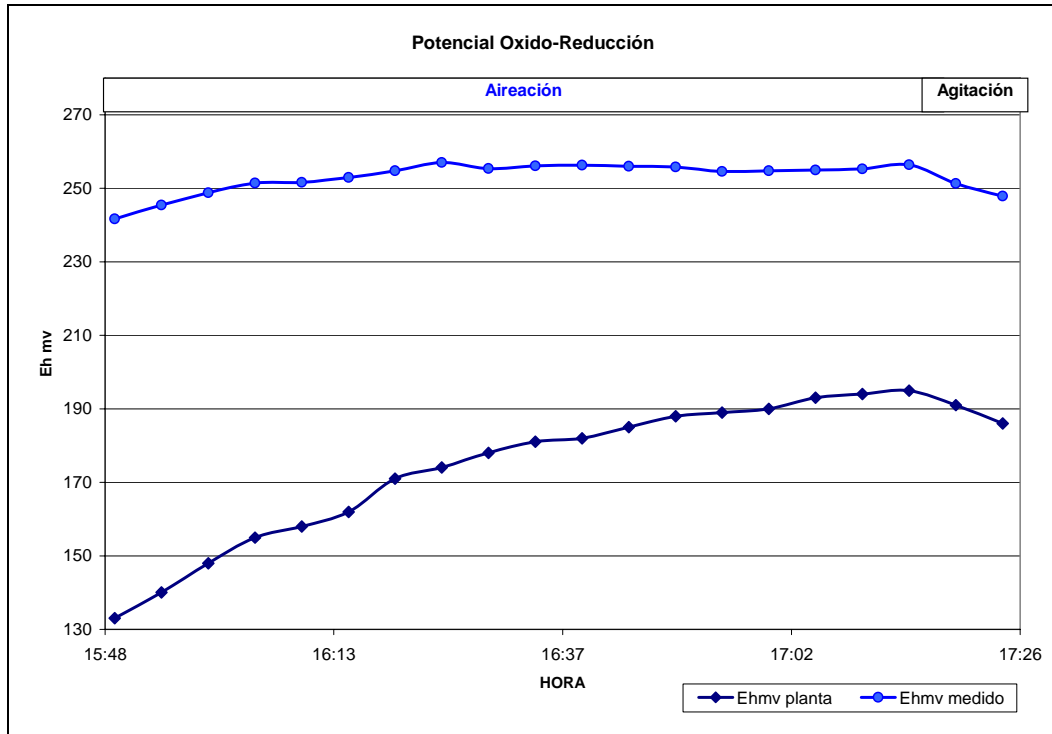
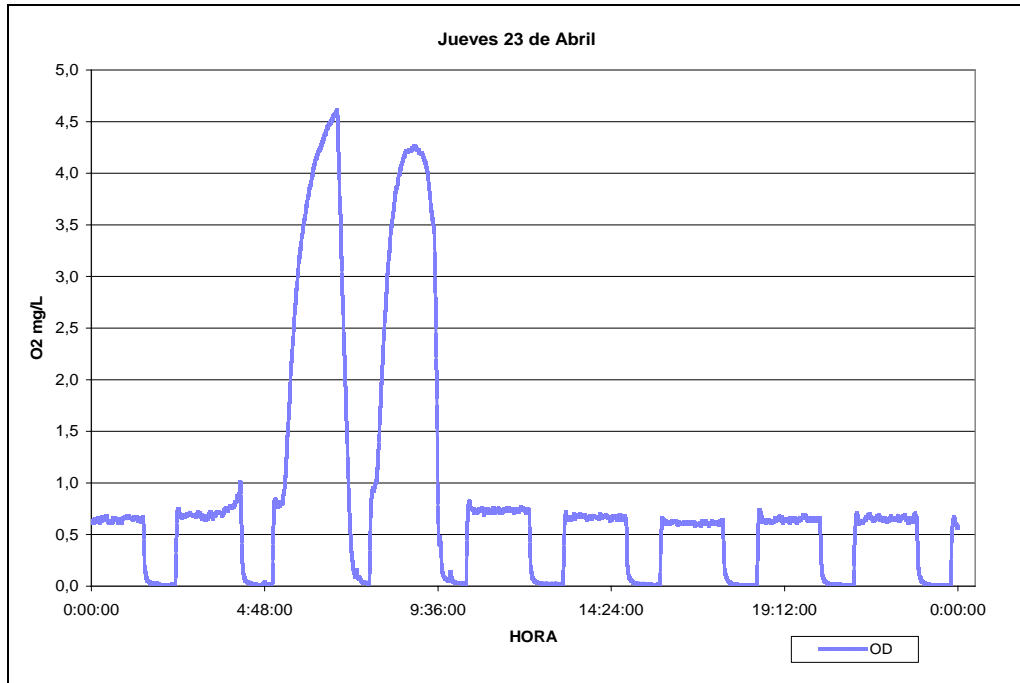


Figura 9-28. Medición POR Agosto.

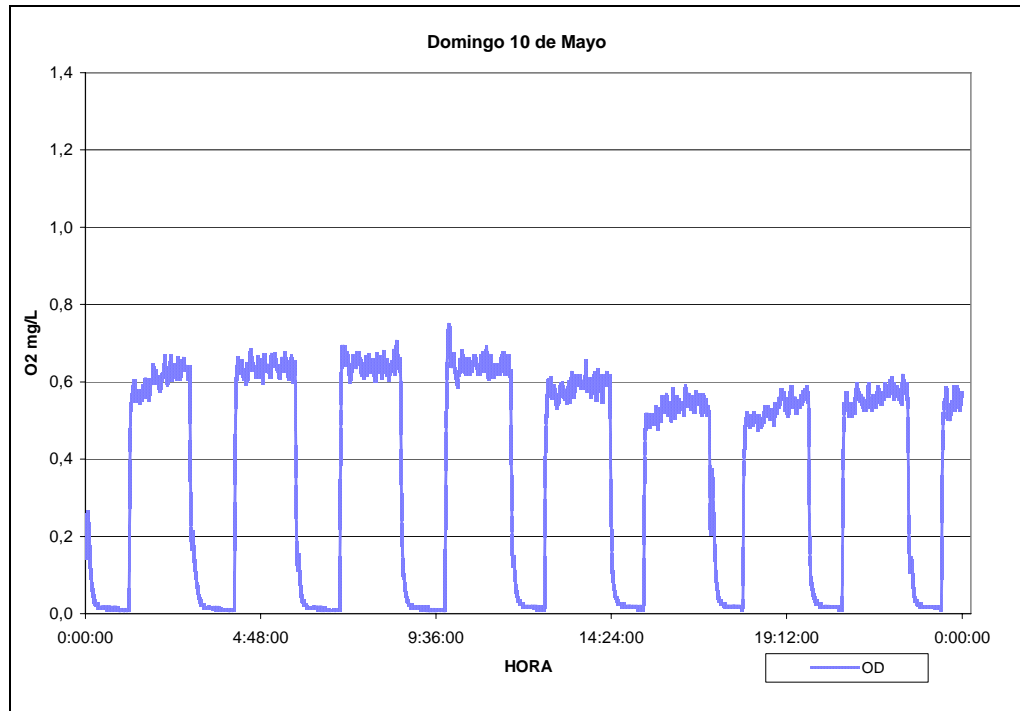
#### B.4 Análisis de datos de OD

A través de los datos de SCADA de la PTAS de Paine, se obtienen los datos de OD de cada reactor, durante las 24 horas del día. Las siguientes gráficas muestran la curva de las 24 horas de un día, donde se eligió la curva con mayor deficiencia de la semana de OD.

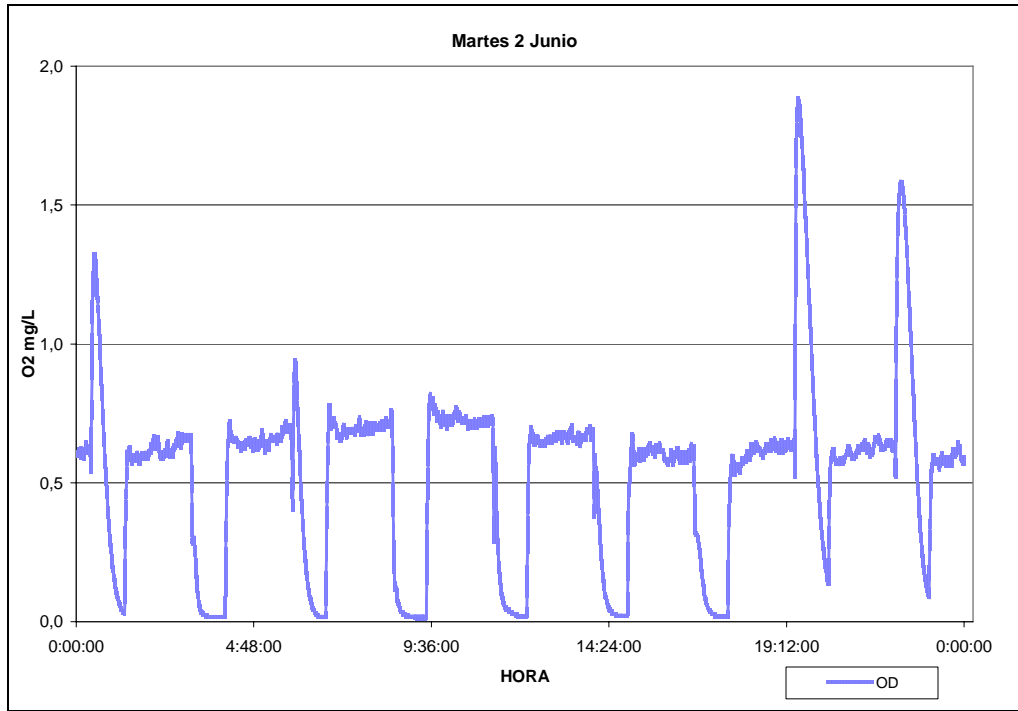
A partir de la figura 9-29 hasta la figura 9-33 se observan las concentraciones de oxígeno obtenidos de SCADA del reactor 1 desde Abril hasta Agosto. En las Figuras se observa que la concentración de oxígeno no supera los 1 mg/L, concentración muy por debajo del valor de consigna que es de 2.5 mg/L.



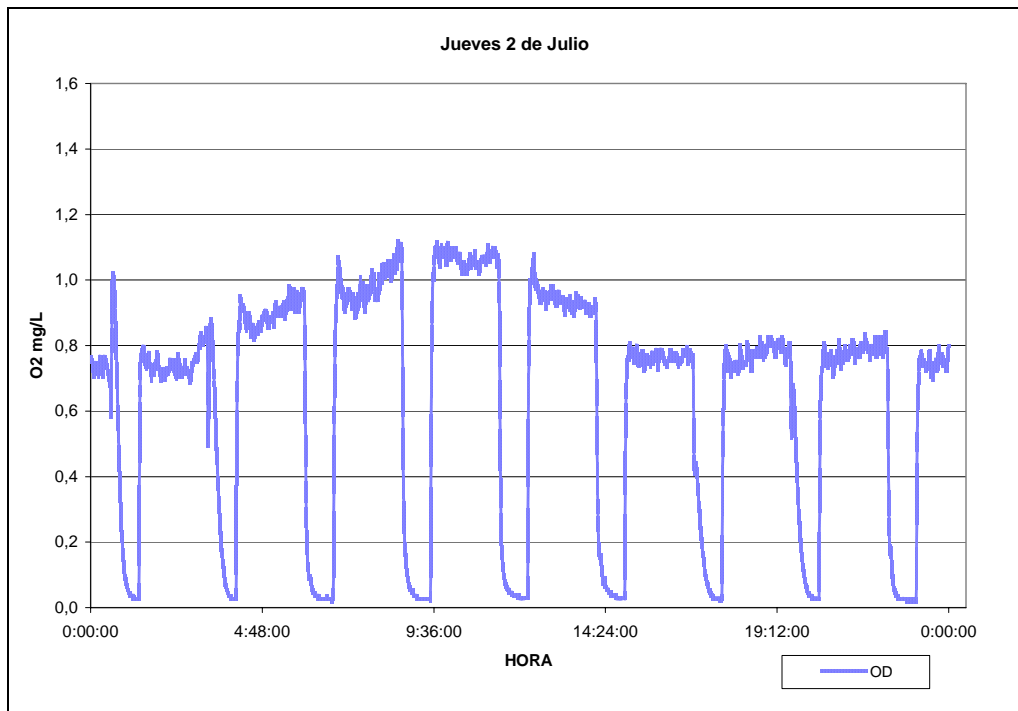
**Figura 9-29. Datos mes de Abril de OD.**



**Figura 9-30. Datos mes de Mayo de OD.**



**Figura 9-31. Datos mes Junio de OD.**



**Figura 9-32. Datos mes Julio de OD.**

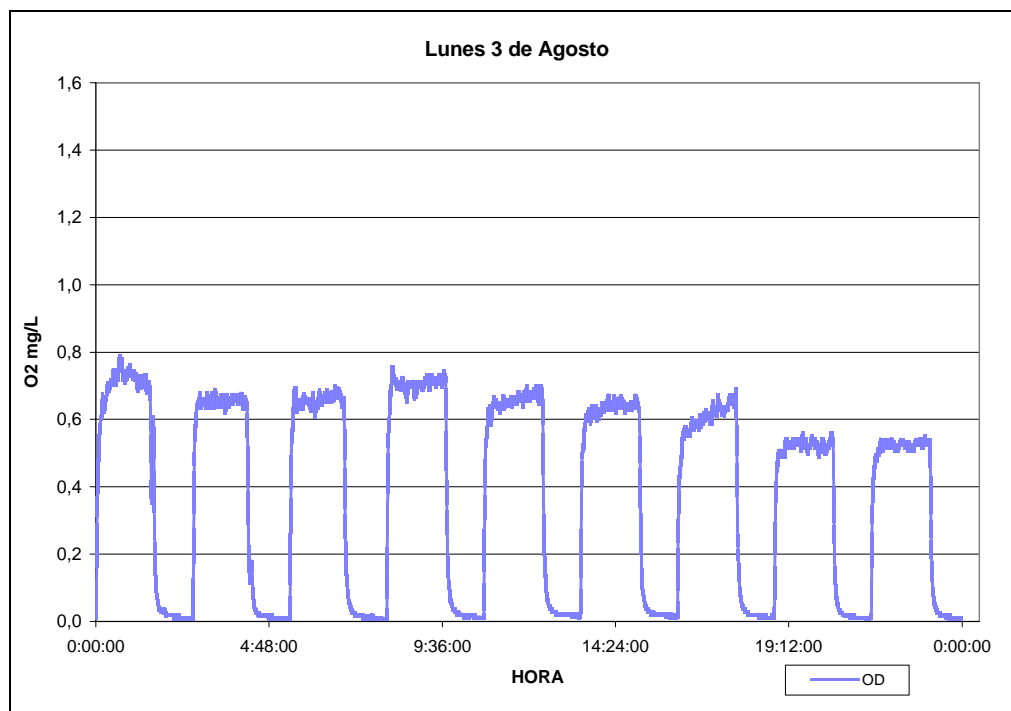


Figura 9-33. Datos mes Agosto de OD.

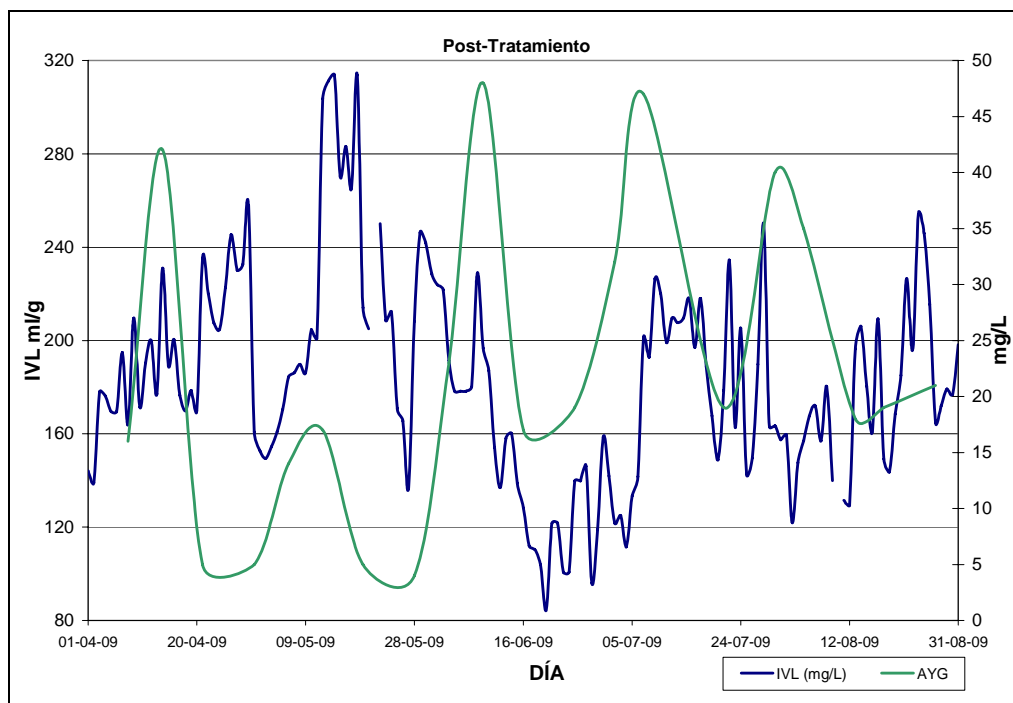
## C.- Planta Los trapenses

### C.1 Causas de la proliferación del Bulking filamentoso

En las figuras 9-34, 9-35, 9-36 y 9-37 se muestran las causas de la proliferación de bacterias filamentosas, a través del grado de compactación del lodo (IVL) de los reactores obtenidos de los registros generales de la planta Los Trapenses y los datos entregados por ANAM de efluente de pretratamiento y los retornos que llegan a los reactores desde Abril hasta Agosto. EL IVL es calculado con los resultados de SST de ANAM.

- En la figura 9-34 se observa que a medida que aumenta las concentraciones de AYG del pre-tratamiento aumentan los valores del IVL, por lo que los aumentos de concentración perjudican directamente a la sedimentación en el reactor.
- En la figura 9-35 se observa que a medida que disminuye la relación de F/M el IVL aumenta, por lo que a medida que disminuye esta relación se produce una mala sedimentación en el reactor.

- En la figura 9-36 se observa que a medida que aumentan las concentraciones de los retornos del espesador aumenta el IVL, perjudicando directamente a la sedimentación en el reactor.
- En la figura 9-37 se observa que a medida aumentan las concentraciones de los SST y DQO de los retornos de la centrifuga aumenta el IVL, por lo que los aumentos de concentración de SST y DQO perjudican directamente a la sedimentación en el reactor.



**Figura 9-34. Efectos de AYG de Pre-tratamiento en el IVL.**

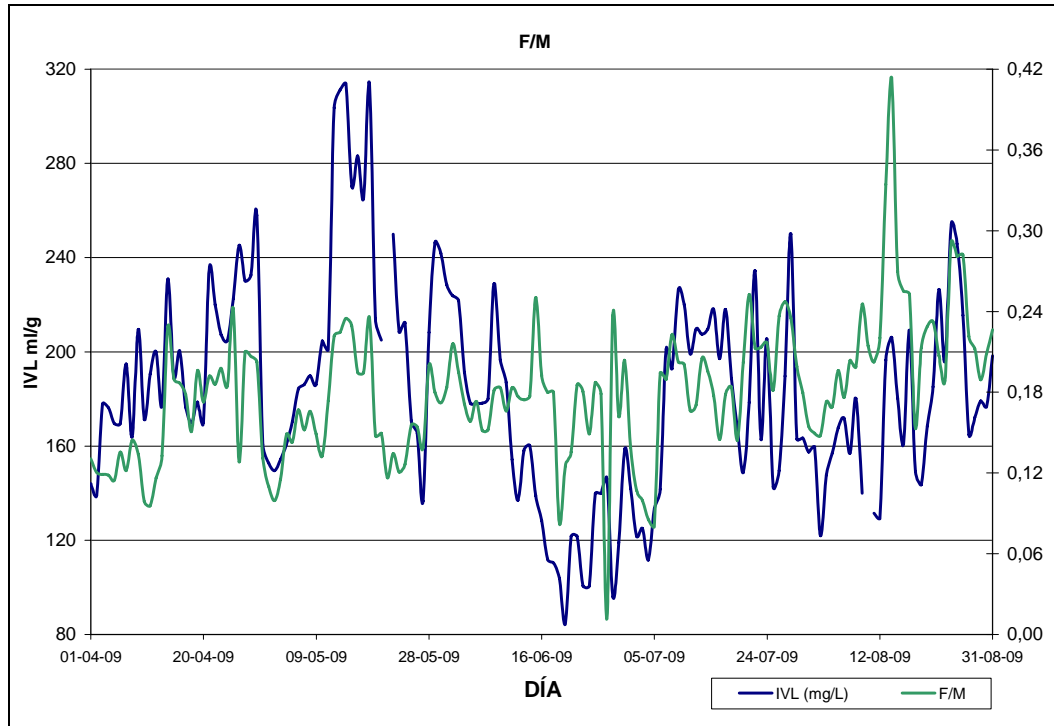


Figura 9-35. Efectos del FM en el IVL.

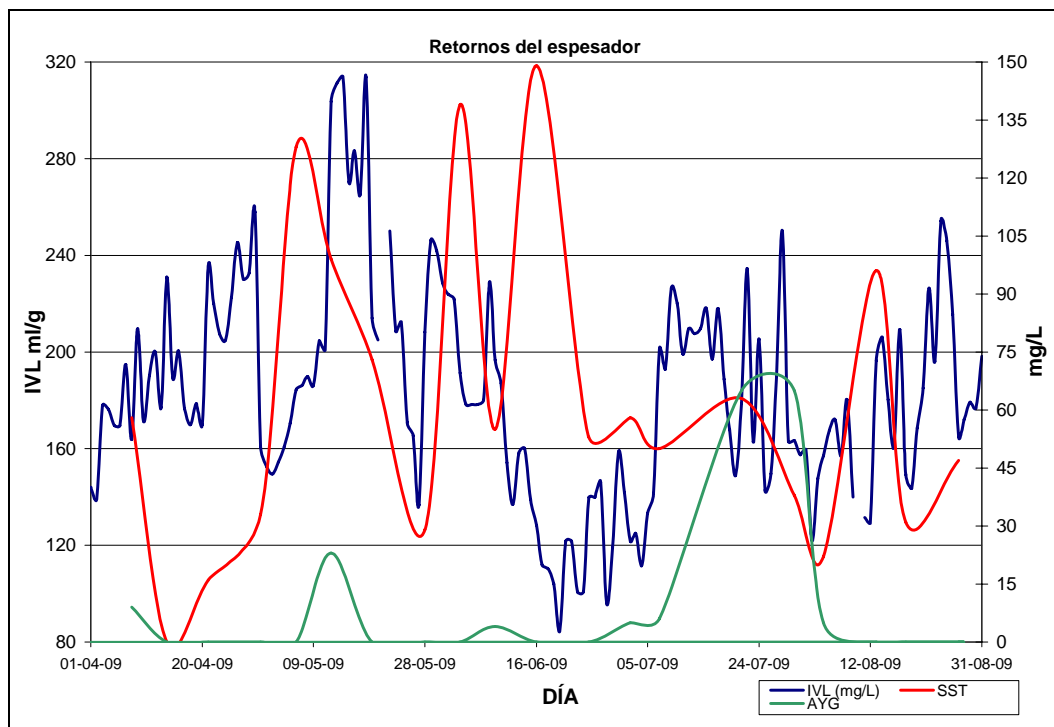


Figura 9-36. Efectos de los retornos del espesor en el IVL.



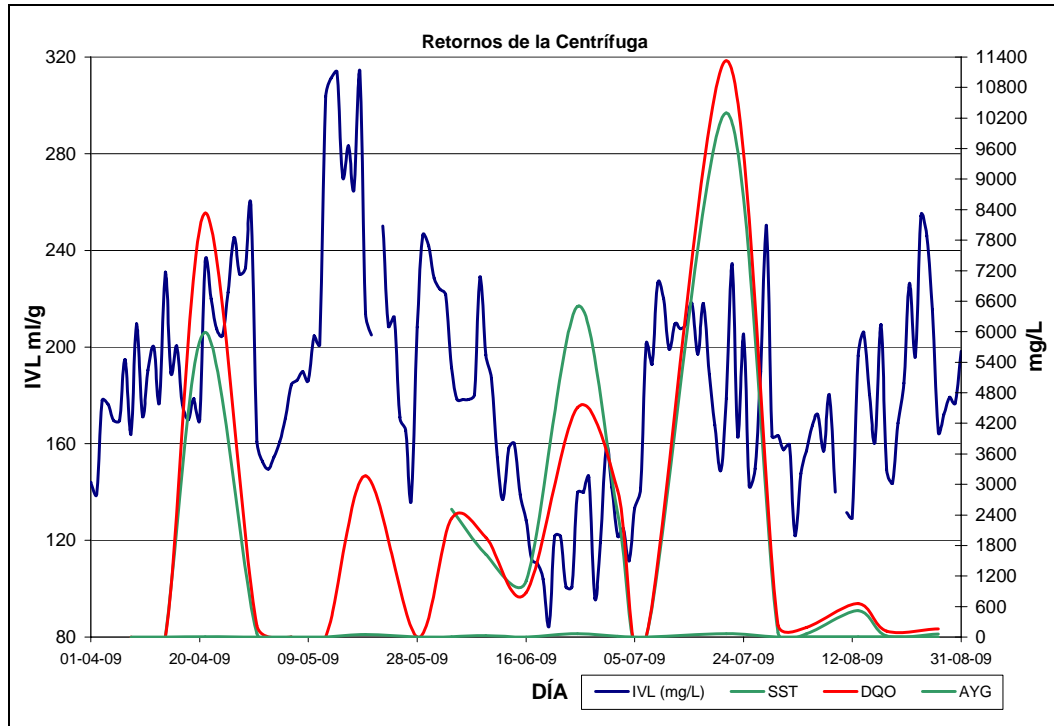


Figura 9-37. Efectos de los retornos de la centrifuga en el IVL.

## C.2 Efectos

En las figuras 9-38 y 9-39 se muestran los efectos de la proliferación de bacterias filamentosas, a través del grado de compactación del lodo (IVL) de los reactores obtenidos de los registros generales de la planta Los Trapenses desde Abril hasta Agosto. EL IVL es calculado con los resultados de SST de ANAM.

- En la figura 9-38 se observa que a medida que hay una mala sedimentabilidad en el reactor y por ende un aumento en el IVL, hay un mayor consumo de cloro en la cámara de contacto y por esto menor concentración de cloro residual en el efluente que sale de la planta.
- En la figura 9-39 se observa que a medida hay una mala sedimentabilidad en el reactor producto del Bulking filamentoso y por ende un aumento en el IVL, el porcentaje de materia seca de los lodos deshidratados es menor, ya que es mas difícil deshidratar.

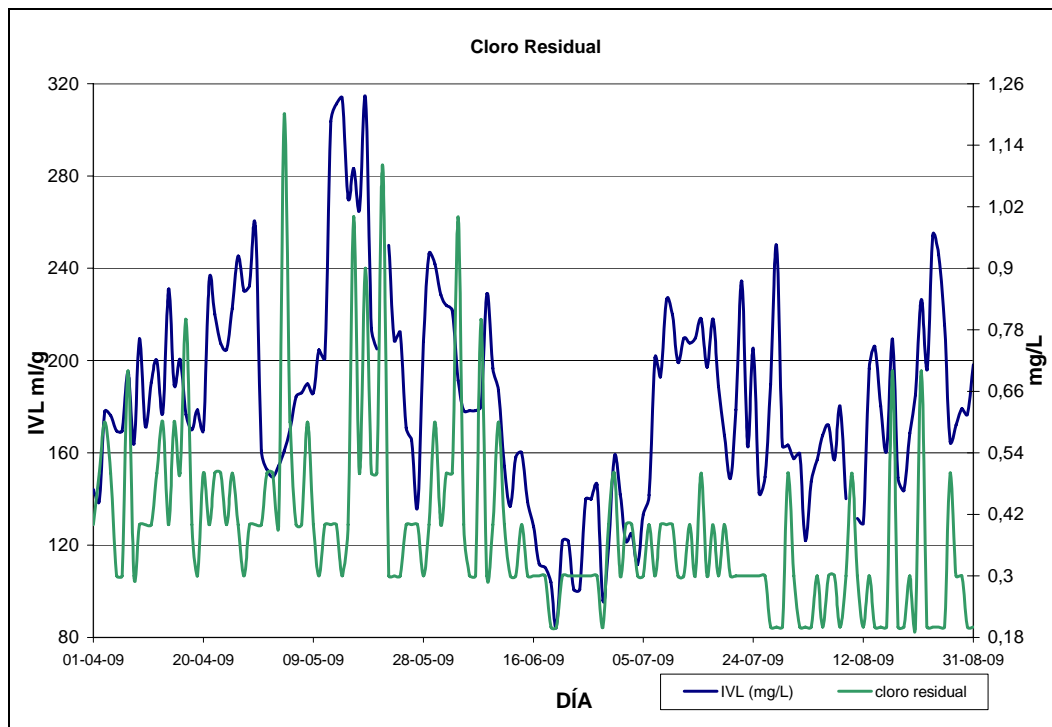


Figura 9-38. Cloro residual.

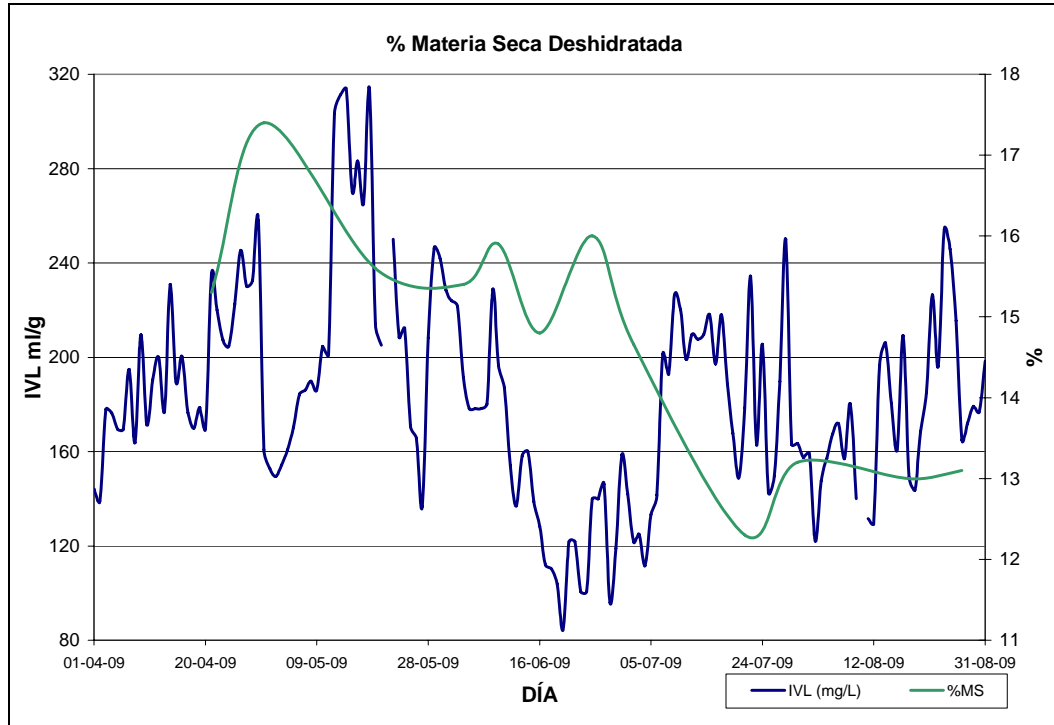


Figura 9-39. %MS Deshidratada.

### C.3 Análisis de datos de POR

Se observan el Potencial de Oxido-Reducción en las figuras 9-40, 9-41, 9-42, 9-43 y 9-44, desde Abril hasta agosto, estas son las curvas más representativas de cada uno de estos meses. La medición se realizó a comienzo del ciclo, en aireación.

En las figuras 9-41 y 9-43 se observa una remoción completa de carbono y una remoción parcial de Nitrógeno y en las figuras 9-40, 9-42 y 9-44 se observa una remoción parcial de carbono y una remoción parcial de Nitrógeno. En estos gráficos se evidencia un déficit de oxígeno para una completa oxidación de los lodos y una buena calidad en el proceso.

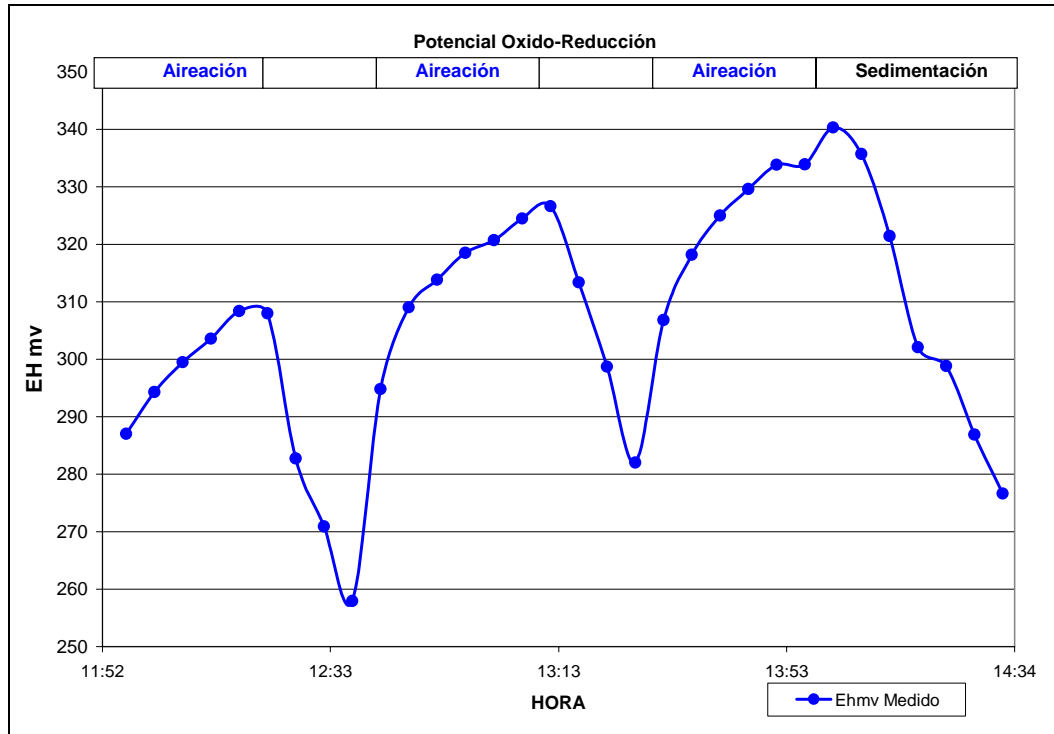


Figura 9-40. Medición POR Abril.

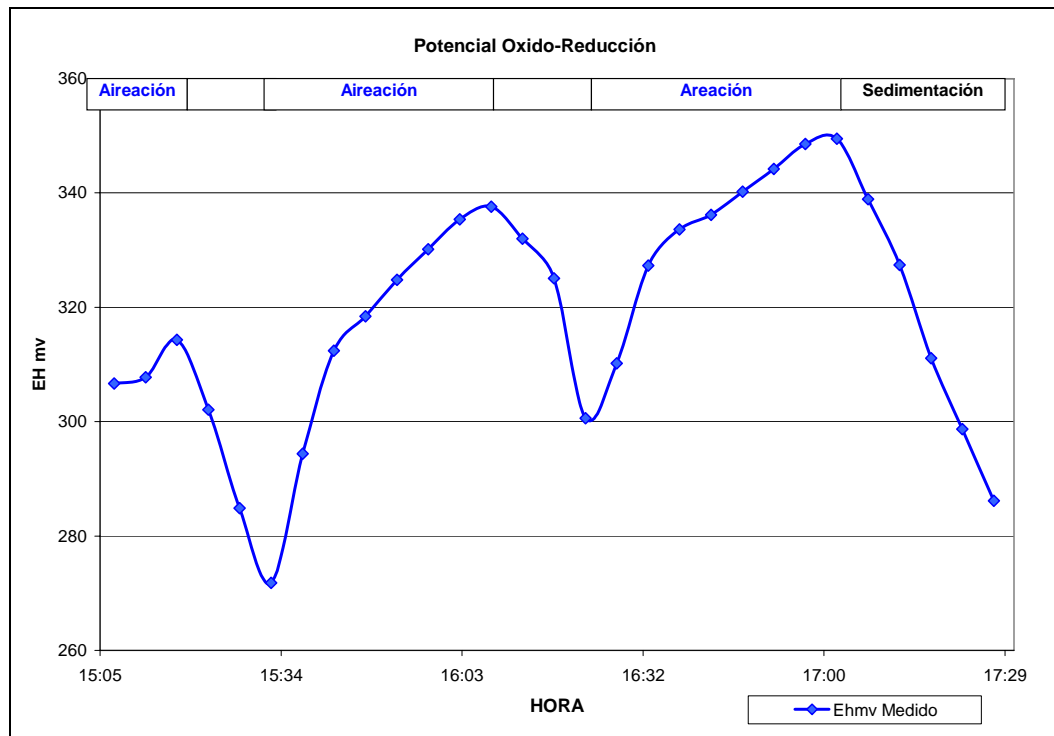


Figura 9-41. Medición POR Mayo.

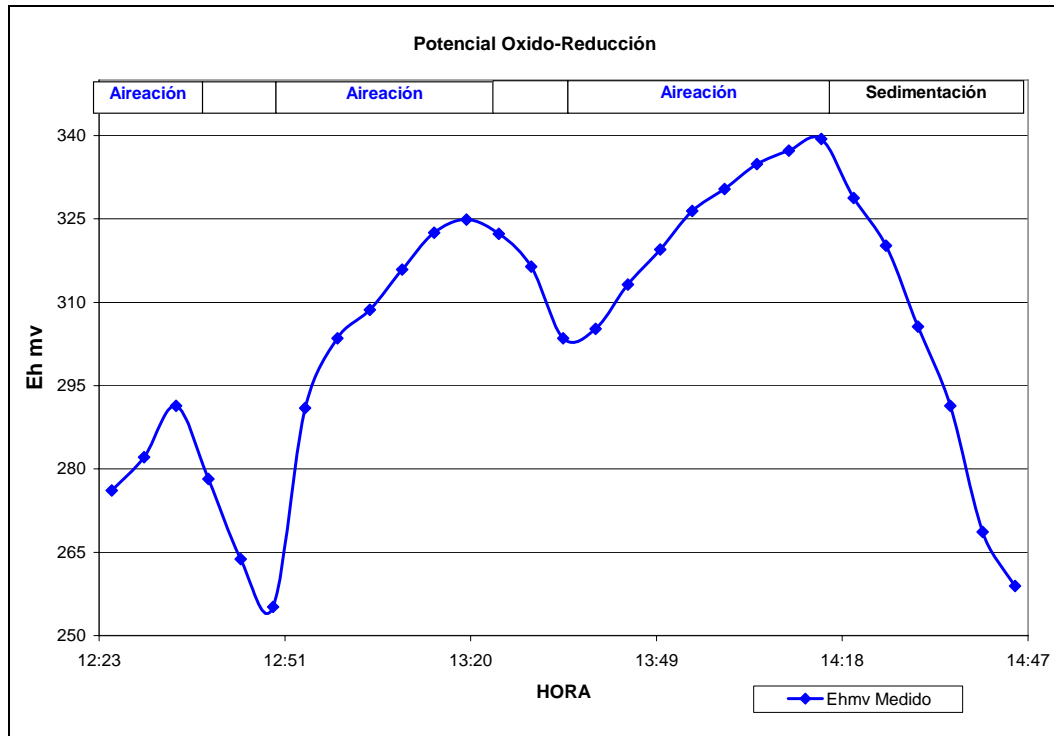


Figura 9-42. Medición POR Junio.

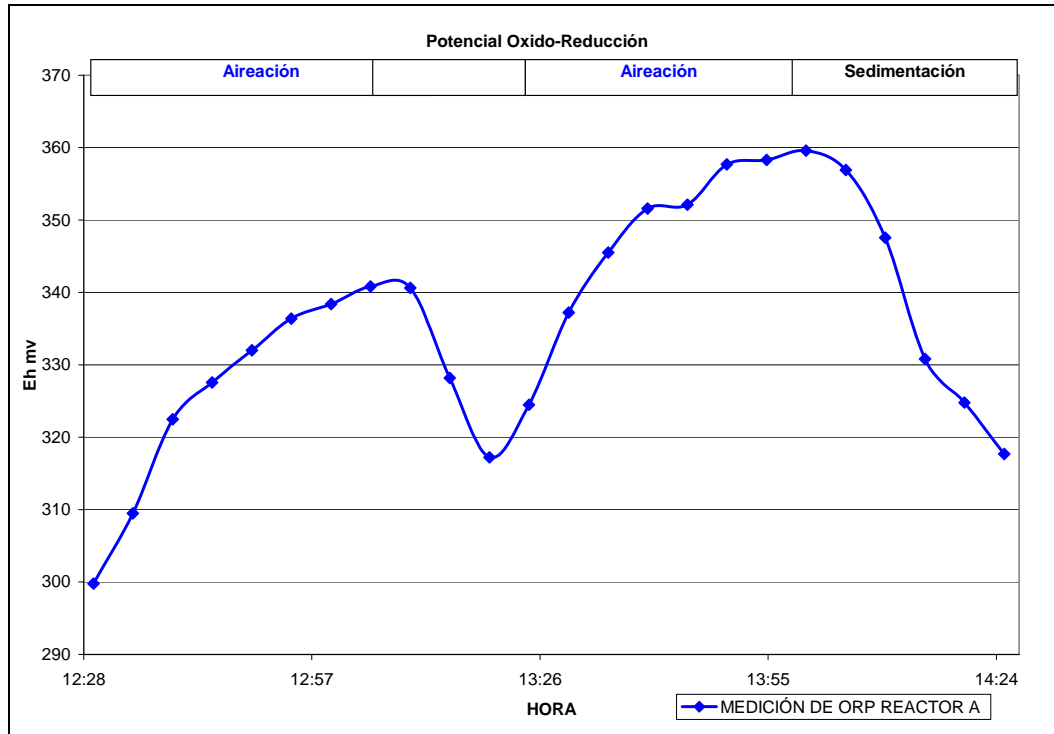


Figura 9-43. Medición POR Julio.

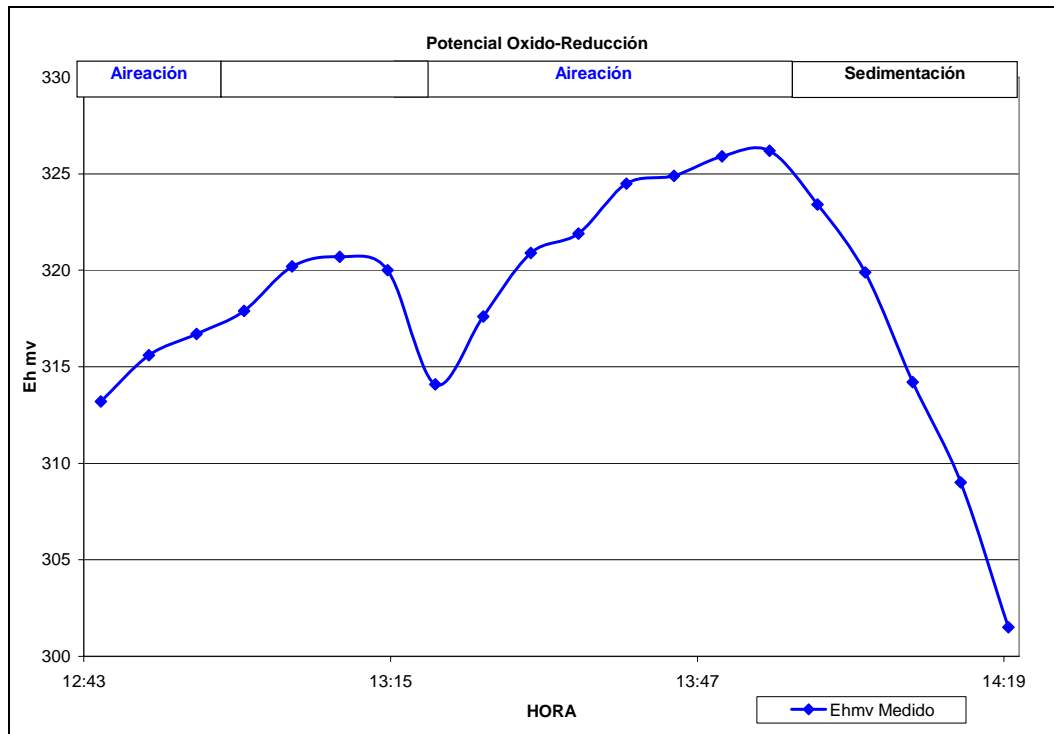
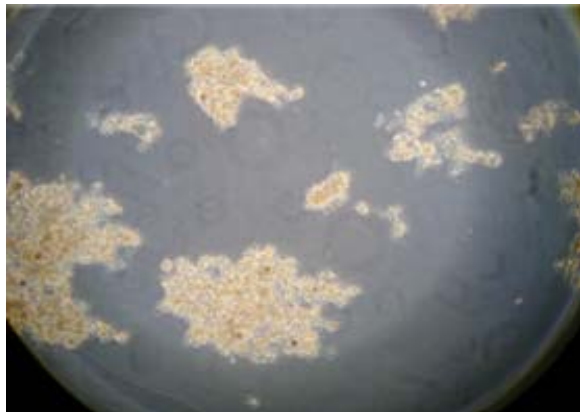
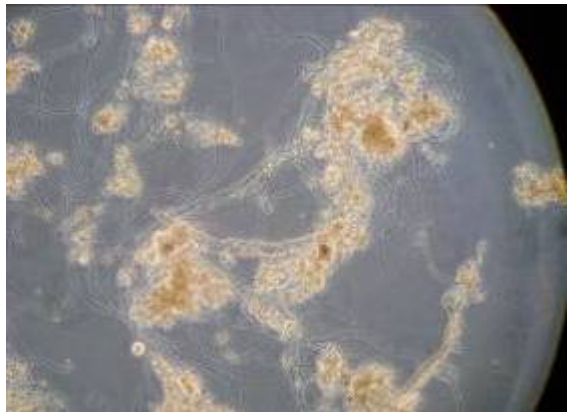


Figura 9-44. Medición POR Agosto.

## D.- Hoja de análisis de microscopia

<u>Análisis microscópico de Lodo Activado.</u>			
Fecha de análisis: __/__/__			
Hora : _____			
Planta : _____			
REACTOR __			
			
<p><b>Flóculo:</b> de forma Regular, estructura Compacta, dispersión normal.</p> <p><b>Filamentosas:</b> grado 2, no hay libres, si en el flóculo, no genera puentes con otros flóculos.</p>	<p><b>Flóculo:</b> de forma irregular, estructura abierta, dispersión alta.</p> <p><b>Filamentosas:</b> grado 4, libres, si en el flóculo, genera puentes con otros flóculos.</p>		
<b>OBSERVACIONES DE LOS FLOCULOS</b>			
Forma:	Regular	Irregular	Esférica
Estructura:	Compacta	Abierta	
Dispersión:	Normal	Alta	Exceso
<b>FILAMENTOSAS</b>			
Grado de abundancia:	0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6		
Libres: S / N	En el flóculo: S / N	Puentes entre floc: S / N	
Ramificaciones: S / N	Adherencia: S / N		
<b>TIPO DE FILAMENTOSAS:</b>			
EJEMPLO: Largas y delgadas filamentosas con adherencia.			
<b>Observaciones:</b>			
EJEMPLO: Alta presencia de bacterias filamentosas largas y delgadas con adherencias que puede ser del tipo 0041 o del tipo 1701.			
La bacteria filamentosas del tipo 1701 se produce por déficit de oxígeno.			
La bacteria filamentosas del tipo 0041 se produce cuando hay baja relación de F/M.			

